

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**UMA ABORDAGEM PARA A VISUALIZAÇÃO
ESPAÇO-TEMPORAL**

ANA PAULA DOS SANTOS BRAATZ VIEIRA

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARCELA XAVIER RIBEIRO

São Carlos – SP

Fevereiro/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**UMA ABORDAGEM PARA A VISUALIZAÇÃO
ESPAÇO-TEMPORAL**

ANA PAULA DOS SANTOS BRAATZ VIEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, área de concentração: Banco de Dados

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Xavier Ribeiro

São Carlos – SP

Fevereiro/2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Ana Paula dos Santos Braatz Vieira, realizada em 15/02/2018:

Marcela Xavier Ribeiro

Profa. Dra. Marcela Xavier Ribeiro
UFSCar

Marilde Terezinha Prado Santos

Profa. Dra. Marilde Terezinha Prado Santos
UFSCar

Luciana Alvim Santos Romani

Profa. Dra. Luciana Alvim Santos Romani
EMBRAPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me capacitar e colocar pessoas ao meu lado para me ajudar e incentivar.

Aos meus pais, Marlene e Isac, e ao meu irmão, meu infinito agradecimento. Por sempre me incentivarem nos estudos e por acreditarem em minha capacidade.

À professora Dra. Marcela Xavier Ribeiro pela orientação, confiança, paciência e oportunidade de trabalhar ao seu lado.

Ao meu namorado Edson por me incentivar, apoiar e me ajudar sempre que possível.

Aos meus amigos Débora, Hério, Alfred, Flávio, pela longas horas de estudo, pelas comidas, risadas, amizade e carinho.

Aos meus amigos Francielle, Roussian, Vinícius, Valéria, Claudinéia, Steve, Arthur, Jack e Enis por acreditarem em mim, pelo apoio, amizade e carinho.

Agradeço também a Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, as agências de fomento CAPES e FAPESP, e principalmente ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil.

A professora Dra. Luciana Romani pelos dados e informações, que sem eles, não seria possível realizar o trabalho.

Por fim, dedico esta dissertação a todas as pessoas que contribuíram de forma direta e indiretamente em mais uma etapa da minha vida, pois sem eles, isso não seria possível.

"A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez"

George Bernard Shaw

RESUMO

Analisar e compreender dados espaciais que variam ao longo do tempo é uma tarefa complexa. Normalmente, os dados estão dispostos na forma de tabelas e textos. Foi desenvolvida a ferramenta ST-Vis (*SpatioTemporal Visualization*) para fornecer uma representação visual de dados espaço-temporais, que auxilia os usuários a entender a variação temporal em uma região ao combinar o gráfico de coordenadas paralelas com um mapa geográfico, a textura temporal e uma tabela. A textura temporal resulta em uma representação de cores para a variação do Índice de Diferença Normalizada (IVND, ou no inglês NDVI), cada célula da textura refere-se a um período a ser analisado. A ST-Vis fornece uma representação espaço-temporal simultânea de dados, e as visualizações interagem umas com as outras por meio de animações. A ferramenta ST-Vis foi avaliada por meio de uma conversa com alguns especialistas de domínio da área, e por meio de um formulário aplicado a alguns especialistas da área, alunos e professores da área de agronegócio, computação e outras áreas. Foi verificado que a ST-Vis auxilia os usuários na compreensão de dados espaço-temporais por meio das visualizações geradas.

Palavras-chave: Dados Espaço-Temporais, representação Espaço-Temporal, Coordenadas Paralelas, Textura Temporal, NDVI

ABSTRACT

Analyzing and understanding spatial data that varies over time is a complex task. Usually, the data is arranged in a tabular or text form. We developed the ST-Vis (SpatioTemporal Visualization) tool to provide a visual representation of spatiotemporal data, which must help users to understand the temporal variation in a region when combining the parallel coordinate graph with a geographical map, the temporal texture, and a table. The temporal texture results in a representation of colors for the variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), each texture cell refers to a period to be analyzed. ST-Vis provides a simultaneous spatiotemporal representation of data, and the visualizations interact with each through animations. We evaluated the ST-Vis tool through a conversation with some domain specialists in the area, and through a form applied to some experts in the field, students and teachers in the area of agribusiness, computing, and other areas. It has been found that ST-Vis assists users in understanding spatiotemporal data through generated visualizations.

Keywords: *Spatio-Temporal data, Space-Time Representation, Parallel Coordinates, Temporal Texture, NDVI*

LISTA DE FIGURAS

2.1	Primeira folha de sobrevivência do Mapa de Peutinger	17
2.2	Representação do mundo real para uma representação espacial por meio de ponto, linha e polígono.	19
2.3	Representação Espacial por meio de coordenadas.	19
2.4	Representação de dados: (a) Ponto - cidade brasileiras, (b) Linhas - rodovias brasileiras e (c) Polígono - estados do Brasil.	20
2.5	Variáveis Visuais para dados espaciais.	20
2.6	Estruturas Temporais: (a) Ordem, (b) Granularidade e (c) Variação Temporal.	21
2.7	<i>Chronon</i> representando as granularidades temporais.	22
2.8	Arranjo Triangular.	23
2.9	Variação de um objeto espacial em uma mesma latitude e longitude ao longo do tempo.	24
2.10	Símbolos independentes de linguagem.	27
2.11	Modelo do processo de visualização de informação.	28
2.12	Técnica de Coordenadas Paralelas.	30
2.13	Leis de Gestalt.	32
2.14	Ferramenta VIS-STAMP e GeoSTAT	34
2.15	Ferramenta <i>GE-based Visualization</i> e GeoVISTA	34
2.16	Ferramenta InfoScope e SATVeg	35
3.1	Arquitetura da ST-Vis	40
3.2	Visualização Espacial - Mapa	41

3.3	Variação do Índice de Vegetação (NDVI)	41
3.4	Visualização Temporal - Textura Temporal (1)	42
3.5	Visualização Temporal - Textura Temporal (2)	43
3.6	Visualização Multidimensional - Gráfico de Coordenadas Paralelas	44
3.7	Visualização Multidimensional - Gráfico de Coordenadas Paralelas (dados espaciais, temporais e temáticos)	44
3.8	Visualização Espaço-Temporal - ST-Vis	45
3.9	Ferramenta ST-Vis	47
3.10	Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (normalizado)	47
3.11	Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (não normalizado)	48
3.12	Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (seleção de focos de interesse)	48
3.13	Consulta simultânea por meio da Ferramenta ST-Vis (visualização em duas áreas distintas)	49
4.1	Formulário - Imagem 1: Porcentagem das respostas utilizando a ST-Vis.	53
4.2	Formulário - Imagem 2: Porcentagem dos usuários que identificaram de forma correta o comportamento da região analisada utilizando a ST-Vis	53
4.3	Formulário - Imagem 3: Porcentagem das respostas utilizando a ST-Vis.	54
A.1	Sistema de Informação Geográfica - mapa	61
A.2	Gráfico de Coordenadas Paralelas	61
A.3	Textura Temporal	62

LISTA DE TABELAS

2.1	Caracterização de classificação dos dados/informações.	25
2.2	Classe de Representação Visual	27
2.3	Trabalhos Relacionados	36
3.1	Tipos de Representações Visuais	46

GLOSSÁRIO

CSV – *Comma-Separated Values*

EMBRAPA – *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

QGIS – *Quantum GIS - Geographic Information System*

SATVeg – *Sistema de Análise Temporal de Vegetação*

ST-Vis – *Spatio-Temporal VISualization*

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 Contexto	13
1.2 Hipótese	14
1.3 Objetivo	14
1.3.1 Objetivos Específicos	14
1.4 Organização do trabalho	15
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Considerações Iniciais	16
2.2 Dados	16
2.2.1 Dados Espaciais e sua Representação	17
2.2.2 Dados Temporais e sua Representação	20
2.2.3 Dados Espaço-Temporais	23
2.2.4 Caracterização dos Dados	24
2.3 Visualização de Informação	25
2.4 Representação Visual	26
2.5 Processo de Transformação de dados em Representação Visual	28
2.5.1 Etapas da Visualização de Dados	29
2.5.2 Técnicas de Visualização de Informações	29

2.5.2.1	Coordenadas Paralelas	30
2.5.3	Limitações da Visualização	31
2.6	Trabalhos Relacionados	32
2.7	Considerações finais	37
 CAPÍTULO 3 – PROPOSTA DA ST-VIS: <i>SPATIO-TEMPORAL VISUALIZATION</i>		38
3.1	Motivação	38
3.2	Definição dos Dados a serem visualizados	39
3.3	Arquitetura	39
3.3.1	Visualização Espacial	41
3.3.2	Visualização Temporal	41
3.3.3	Visualização Multidimensional	42
3.4	Visualização Espaço-Temporal	44
3.5	Representações Visuais utilizadas nos Trabalhos Correlatos	45
3.6	ST-Vis: <i>Spatio-Temporal VISualization</i>	46
3.6.1	Vantagem e Desvantagens	48
3.7	Considerações finais	50
 CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA ST-VIS: <i>SPATIO-TEMPORAL VISUALIZATION</i>		51
4.1	Descrição do método de Avaliação	51
4.2	Considerações finais	54
 CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO		55
5.1	Trabalhos Futuros	55
5.2	Contribuições em Produções Bibliográfica	56
 REFERÊNCIAS		57

CAPÍTULO A –FORMULÁRIO	60
A.1 Formulário de Pesquisa	60
A.1.1 Responda as seguintes questões:	63
CAPÍTULO B –CÓDIGO	68
CAPÍTULO C –PRODUÇÕES BIBLIOGRÁFICAS	74

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Atualmente, há um constante aumento no volume de dados que são obtidos por sensores, dentre outras formas de geração e obtenção. Assim, manifesta-se a necessidade de extração dessas informações, e uma das formas para acelerar o processo de análise de uma grande quantidade de dados é por meio da representação visual, ou seja, representar os dados por meio de imagens.

Porque visualizar os dados por meio de imagens é importante? Um dos motivos no qual a visualização é importante para os seres humanos, é pelo fato de sermos seres visuais e utilizarmos a visão como um dos nossos principais sentidos para compreender as informações, assim, o modo como exibimos os dados podem auxiliar o usuário na interpretação (WARD; GRINSTEIN; KEIM, 2015).

Interpretar as informações por meio de imagens, muitas vezes, gera menos esforço cognitivo pelo usuário na compreensão de dados. Isso pode ocorrer principalmente no processo pré-atentivo, no qual existem distinções que se destacam na imagem, como por exemplo, cor, textura, orientação, entre outros. Uma imagem pode conter vários dados ocupando um espaço razoável no *display*, e de acordo Ward, Grinstein, e Keim (2015) as informações obtidas por meio de uma imagem são analisadas de forma paralela no nosso sistema perceptual.

Interpretar dados por meio de imagens, tem sido importante aos usuários e especialistas, principalmente para a análise de dados complexos como os dados espaço-temporais, e está sendo um desafio na área de geoinformação. Essa área utiliza representações estáticas de fenômenos espaciais dinâmicos e não conseguem capturar todas as informações e idealizá-las de uma forma adequada, havendo perdas de informações temporais na representação visual

(CASANOVA et al., 2005).

Analisar as informações espaço-temporais por representação textual é uma tarefa que demanda tempo e um certo esforço cognitivo por meio do usuário. Assim, existe a necessidade de desenvolver modelos espaço-temporais para representar os dados por meio visual, isto é, imagens. Deste modo, o usuário pode detectar *outliers*, reconhecer padrões e regras nos dados sem muito esforço cognitivo, pois a interpretação de uma imagem acontece em paralelo com o nosso sistema perceptual.

1.2 Hipótese

A hipótese da dissertação constitui em, fornecer uma visualização simultânea contendo, um mapa para a visualização espacial, uma Textura Temporal para a análise da variação temporal e um gráfico de Coordenadas Paralelas, para auxiliar os especialistas na análise da cobertura vegetal.

1.3 Objetivo

O objetivo desta dissertação constitui em propor e desenvolver uma abordagem para auxiliar a visualização de dados espaço-temporais por meio da representação visual, ou seja, imagens. Assim, a informação espacial é exibida simultaneamente com a informação temporal, permitindo que a análise espaço-temporal por parte do usuário seja realizada em uma visualização interativa e mais compreensível para o especialista.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para alcançar os objetivos, são destacados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma estratégia para a visualização simultânea de dados espaciais e temporais;
- Desenvolver mecanismos para o usuário interagir com uma visualização espacial e temporal;
- Desenvolver uma ferramenta para a visualização de dados espaço-temporais.

1.4 Organização do trabalho

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos, como o mostrado a seguir:

O Capítulo 2 se inicia com a fundamentação teórica, contextualizando os conceitos de dados espaciais, temporais, espaço-temporais e suas representações. Aborda de forma breve a visualização de informação, a representação visual, o processo de transformação de dados em uma representação visual e as etapas da visualização de dados segundo Fry (2007) e suas limitações. Destaca algumas técnicas de visualização, dando foco na técnica de visualização utilizada no projeto. E por fim, apresenta os trabalhos relacionados, destacando as principais ferramentas que tratam dados espaço-temporais.

O Capítulo 3 apresenta a proposta da ST-Vis (*Spatio-Temporal VISualization*), descrevendo a motivação para o desenvolvimento da ferramenta, os dados a serem visualizados, e a arquitetura da ST-Vis. Apresenta as visualizações espaciais, temporais, multidimensionais e espaço-temporais presentes na ST-Vis, destaca as representações visuais utilizadas nas ferramentas correlatas e, por fim, descreve a ferramenta ST-Vis, junto com suas vantagens e desvantagens.

O Capítulo 4 descreve os resultados finais da representação visual obtida pela ST-Vis em um único *display*. Descreve o método de avaliação da ferramenta realizada por meio de um formulário web aplicado a 3 especialistas de domínio na área, 7 alunos da área de agronegócio, 22 alunos e professores da área de computação e 5 alunos de outras áreas, totalizando 37 pessoas.

Por último, o Capítulo 5 apresenta a conclusão do projeto proposto, com os trabalhos futuros e as contribuições em produções bibliográficas.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações Iniciais

A frase "uma imagem vale mais que mil palavras" tem sido comumente utilizada para evidenciar a importância da visualização na capacidade de sintetizar informações expressas em longos textos. Logo, uma imagem ou visualização se bem elaboradas consegue destacar informações relevantes.

A representação visual por meio de imagens pode ser utilizada para destacar os dados que o usuário deseja analisar, e se fornecida de modo adequado, consegue expressar as informações de uma forma mais simples e intuitiva, podendo gerar menos esforço cognitivo na interpretação dos dados pelo usuário.

Atualmente, existe um constante avanços tecnológicos, sendo possível a cada dia armazenar e analisar um grande volume de dados. Assim, há a necessidade de compreender os dados de uma maneira mais rápida, o que pode ser alcançado utilizando as técnicas de Visualização de Informação, que será abordado no decorrer do capítulo.

Neste capítulo estão descritos os conceitos de dados, visualização de informação, representação visual, o processo de transformação de dados em uma representação visual, ou seja, uma imagem, e por último, serão apresentados os trabalhos relacionados.

2.2 Dados

Dados, ou *data* do latim são um conjunto de valores ou ocorrências em um estado bruto com o qual são obtidas informações, ou seja, são valores de características (SOMASUNDARAM; SHRIVASTAVA et al., 2009).

2.2.1 Dados Espaciais e sua Representação

Dados espaciais são representações da superfície terrestre (mundo real) e estão relacionados com o seu posicionamento, localização no espaço geográfico ou as formas geométricas de um objeto.

De acordo com Ward, Grinstein e Keim (2015) as visualizações espaciais como os mapas, surgiram por causa da necessidade da população para viagens, comércio e comunicação. Assim, estes mapas apoiavam os viajantes nos planejamento de rotas e sobrevivência.

Um exemplo de mapa a ser destacado, é o mapa de Peutinger (Figura 2.1), criado por Konrad Peutinger (1465-1547). Um mapa rotineiro de 70 mil trilhas de rodovias imperiais de uma parte do mundo romano, com estradas e a sua distância aproximada. Esses mapas muitas vezes apresentavam distâncias distorcidas, fazendo com que uma região ficasse mais perto de outra ou mais longe, em que as posições relativas eram mais importantes que a precisão real (Ward, Grinstein e Keim (2015)).



Figura 2.1: Primeira folha de sobrevivência do Mapa de Peutinger

Fonte: (LIVIUS.ORG, 2003).

Com o passar dos anos e com o auxílio de satélites, é possível obter visualizações de dados espaciais por meio de mapas com precisões reais. Além da tecnologia para coleta de dados, existem alguns ambientes de visualização como o *display* de computadores. Assim, a visualização no *display* pode ser manipulada com interações como aumentar ou diminuir o tamanho da imagem, percorrer a imagem com *click* e arraste, animações, entre outros.

Para representar os dados espaciais por meio de imagens, os dados são classificados em dois tipos (SERVER, 2014; MICROSOFT, 2016):

- **Geography**: armazena os dados elipsoidais representando as coordenadas como um globo terrestre;

- **Geometry**: representa os dados em um sistema de coordenadas euclidiano (plano) ou dados planares.

Essa classificação é definida no padrão OGC (*Open Geospatial Consortium*) que é baseado em um modelo básico para características geográficas, e essa classificação oferece suporte a objetos de instâncias espaciais, como ponto, linha, polígonos e suas variações, referentes as suas coordenadas geográficas.

As Coordenadas geográficas (latitude e longitude) são um sistema de mapeamento da Terra no qual é expressa uma posição horizontal mediante duas das três coordenadas existentes em um sistema esférico de coordenadas alinhadas a um eixo de rotação da Terra. Ao visualizar os dados geoespaciais, o trabalho apresentado por Ward, Grinstein e Keim (2010) relata que as projeções de mapas fazem o mapeamento das posições do tipo *Geography* para as posições na *Geometry*. Uma projeção de mapa pode ser definida como:

$$\Pi: (\lambda, \varphi) \rightarrow (x, y)$$

Assim, o formato de dados para graus de longitude (λ) é fixado ao intervalo $[-180, 180]$, no qual valores negativos representam graus ocidentais e valores positivos para graus orientais. Os graus de latitude (φ) são definidos de forma semelhante no intervalo $[-90, 90]$, no qual valores negativos referenciam graus do sul e valores positivos, graus do norte. Considere, que x representa o eixo horizontal, sendo $\lambda = x$, e y representa o eixo vertical, sendo $\varphi = y$, de um mapa bidimensional.

Os objetos espaciais podem representar o mundo real por meio de geometrias como: **pontos, linhas e polígonos**, como apresenta a Figura 2.2.

A geometria pode representar dados sobre clientes, cidades, estradas, rios, países, continentes, entre outros dados do mundo real. Essa representação visa facilitar o entendimento do usuário para localizar as posições geográficas como latitude e longitude de um objeto.

Deste modo, considere $x_0, x_1, x_2, x_3, y_0, y_1, y_2, y_3$ sendo valores fictícios para latitude e longitude para compreender a Figura 2.3.

O **ponto** (0-dimensional), é definido por um par de coordenadas de longitude e latitude que determinam uma posição no espaço, ou seja, um objeto de dimensão 0 (zero) (POSTGIS, 2005). Representa entidades que não possuem dimensões significativas, como, por exemplo, pode representar uma pessoa, uma casa, cidade, dependendo da escala a ser analisada.

Um ponto é definido como '(x0 y0)', no qual x_0 representa a longitude e y_0 a latitude,

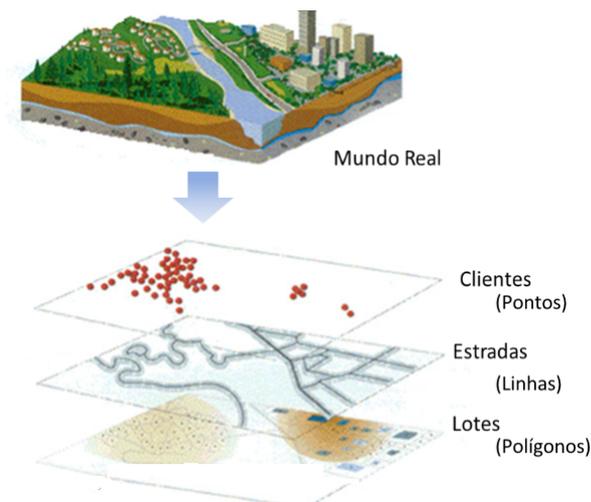


Figura 2.2: Representação do mundo real para uma representação espacial por meio de ponto, linha e polígono.

Fonte: Adaptado de Peta (2014).

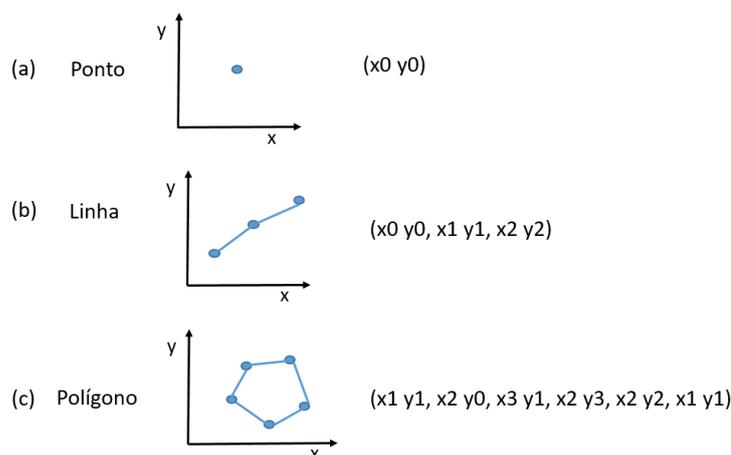


Figura 2.3: Representação Espacial por meio de coordenadas.

Fonte: Adaptado de PostGIS (2005), PostgreSQL (2016).

determinando um ponto no espaço (Figura 2.3(a)). De modo a representar localizações de dados do mundo real, como pessoas, cidades (Figura 2.4(a)), focos de dengue, lojas, entre outros.

A **linha** (uni-dimensional), é definida por no mínimo dois pares de coordenadas (x y) formada por infinitos pontos. Uma entidade que possui distribuição espacial linear, podendo representar rios, estradas, linhas ferroviárias, entre outros.

A linha é definida como '(x0 y0, x1 y1, x2 y2)'. Cada par de coordenada (x y) representa um ponto e a união dos pares de coordenadas representa uma forma linear (POSTGIS, 2005), isto é, a linha, como apresenta a Figura 2.3(b). As linhas representam a localização de dados do mundo real, como estradas ou rodovias (Figura 2.4(b)), rios, represas, entre outros, dependendo da escala a ser analisada.

O **polígono** (bi-dimensional), é definido por uma série de coordenadas (x y) formando segmentos de linhas que fecham uma área, no qual o ponto de partida, ou seja, o início, é também o ponto de chegada (POSTGIS, 2005). Representa entidades que limitam uma determinada região, em que pode representar campos, bacias hidrográficas, cidades, estados (Figura 2.4(c)), países, entre outros, dependendo da escala analisada.

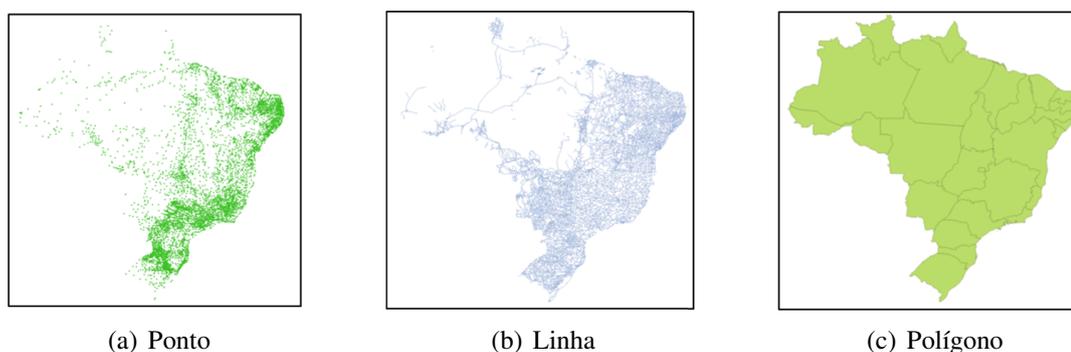


Figura 2.4: Representação de dados: (a) Ponto - cidade brasileiras, (b) Linhas - rodovias brasileiras e (c) Polígono - estados do Brasil.

Fonte: Imagens obtidas por meio da Ferramenta QGIS ¹.

De acordo com Ward, Grinstein e Keim (2015) é provável que a ideia básica para retratar os dados espaciais é representá-los por meio de pontos, segmentos de linhas e um polígono, entre os pares de pontos especificados por par de coordenadas de longitude e latitude. Além de variáveis visuais como: tamanho/largura, forma, brilho, orientação, textura, perspectiva de símbolos individuais, linhas ou áreas e arranjo de padrões, como apresenta a Figura 2.5.

	Tamanho (size)	Forma (shape)	Brilho (brightness)	Cor (color)	Orientação (orientation)	Espaçamento (spacing)	Perspectiva (perspective height)	Arranjo (arrangement)
Ponto	Black squares of varying sizes	Black shapes: circle, triangle, square, cross	Black and grey rectangles of varying brightness	Colored squares: orange, red, green, blue, yellow	Black rectangles at different angles	Black rectangles with varying spacing	Black rectangles with varying perspective height	Black rectangles in different arrangements
Linha	Black lines of varying thickness	Black lines with different patterns: dotted, dashed, solid	Black lines with varying brightness	Colored lines: red, green, blue, yellow	Black lines at different orientations	Black lines with varying spacing	Black lines with varying perspective height	Black lines in different arrangements
Área / Polígono	Black and grey areas of varying size	Black and grey shapes: circle, triangle, square	Black and grey areas of varying brightness	Colored areas: red, green, blue, yellow	Black areas at different orientations	Black areas with varying spacing	Black areas with varying perspective height	Black areas in different arrangements

Figura 2.5: Variáveis Visuais para dados espaciais.

Fonte: Ward, Grinstein e Keim (2015) .

2.2.2 Dados Temporais e sua Representação

Dados temporais são dados que representam as informações do tempo, como um histórico. Segundo Elmasri e Wu (1990), um evento associado a um ponto ou a um período de tempo

específico de um dado, pode apresentar diferentes significados.

Deste modo, Casanova et al. (2005), Edelweiss e Oliveira (1994) declara que torna-se necessário interpretar os significados dessas associações, assim o tempo considera aspectos de: **Ordem, Granularidade e Variação Temporal**, como apresenta a Figura 2.6.

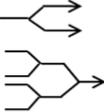
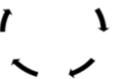
(a) Ordem	(b) Granularidade	(c) Variação Temporal
Linear 	Instante 	Discreto 
Ramificado 	Intervalo 	
Cíclico 	Período 	Contínuo 

Figura 2.6: Estruturas Temporais: (a) Ordem, (b) Granularidade e (c) Variação Temporal.

Fonte: Adaptado de Casanova et al. (2005), Edelweiss e Oliveira (1994).

A Figura 2.6 descreve as estruturas temporais, como a Ordem do tempo, que pode ser representada por meio de três tipos de tempos, definidos por Araki e Rosa (2005), Casanova et al. (2005), conforme apresenta a Figura 2.6 (a):

- **Tempo Linear:** flui de forma linear, total ordenação entre quaisquer dois pontos no tempo (ordenação temporal), um dado tem no máximo um sucessor e um predecessor. Se $t1$ e $t2$ são pontos diferentes, e " \prec " é um operador da precedência temporal, uma das expressões para representar o tempo linear é $t1 \prec t2$, ou seja, o tempo avança do passado para o futuro de uma maneira totalmente ordenada;
- **Tempo Ramificado:** um dado pode ter diversos sucessores ou predecessores, ou seja, uma decisão pode gerar diversas opções de resultados;
- **Tempo Cíclico:** dados que se repetem ao longo do período, ou eventos recorrentes, por exemplo, promoções em lojas, estações do ano).

Embora o tempo seja contínuo por natureza, adota-se uma representação computacional discreta do tempo ², com a variação temporal correspondendo a uma linha de tempo composta por uma sequência de intervalos consecutivos de mesma duração; podemos algumas vezes considerar a necessidade de diferentes granularidades ao mesmo tempo (por exemplo, hora, dia, mês, ano) para obter uma melhor representação da realidade (CASANOVA et al., 2005), como apresenta a Figura 2.7.

²Tempo discreto - implica que cada ponto possui um único sucessor (FARIA et al., 1998).

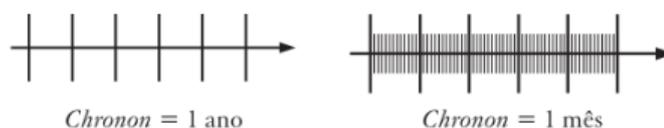


Figura 2.7: Chronon representando as granularidades temporais.

Fonte: (CASANOVA et al., 2005).

A granularidade temporal, ou duração de período de tempo, corresponde à duração de um *chronon*. O *chronon* é a duração mais curta do tempo, um intervalo temporal ordenado que não pode ser decomposto, pois é uma unidade de tempo representado por um número inteiro 1, considerado a menor duração de tempo de um sistema (EDELWEISS; OLIVEIRA, 1994; CASANOVA et al., 2005), podemos considerar granularidades diferentes (hora, dia, mês, ano) para representar fatos do mundo real.

A **Granularidade** como observamos na Figura 2.6 (b), pode ser representada em três tempos diferentes, de acordo com (ARAKI; ROSA, 2005; CASANOVA et al., 2005; EDELWEISS; OLIVEIRA, 1994):

- **Instante:** momento que um determinado evento ocorre e cuja passagem é instantânea, representa e armazena um ponto no tempo com duração mínima, representado por um ponto, como apresenta a Figura 2.6 (b) - Instante.
- **Intervalo:** tempo decorrido entre dois instantes, uma distância no espaço transcorrida entre o instante final e o instante inicial como apresenta a Figura 2.6 (b) - Intervalo.
- **Período ou elemento temporal:** descreve o intervalo de tempo decorrido entre dois instantes como apresenta a Figura 2.6 (b) - Período; o tempo necessário para que um intervalo de tempo volte a se repetir, uma união finita de intervalos de tempo, podendo ser intervalos disjuntos ³, criando um novo elemento temporal para operações de conjunto como: união, intersecção e complemento.

De acordo com Casanova et al. (2005), Edelweiss e Oliveira (1994) a **Varição Temporal** como observamos na Figura 2.6(c), o tempo pode ser analisado de duas formas :

- **Tempo Discreto:** um dado tem um valor fixo durante um *chronon* predefinido, indicando que cada ponto possui um único sucessor.
- **Tempo Contínuo:** tempo analisado de forma natural e contínua, sendo que um dado pode ter um valor diferente em qualquer instante de tempo;

³Intervalos disjuntos - são intervalos que não possuem um tempo em comum (não se interceptam)

2.2.3 Dados Espaço-Temporais

Como o espaço e o tempo se misturam para descrever a realidade de um objeto no mundo real, um dado espaço-temporal é a junção dos dados espaciais e dados temporais. Estes dados representam informações com base na localização e no tempo de um determinado objeto, fornecendo informações históricas (PEUQUET, 2001).

Peuquet (1994) distinguiu os dados espaço-temporais como um arranjo triangular (Figura 2.8), com informações espaciais, temporais e de atributos. Assim, os dados espaciais e temporais são analisados como dados independentes entre si, já o atributo é um dado dependente pois o que o valor do atributo pode variar de acordo com o local e a data.

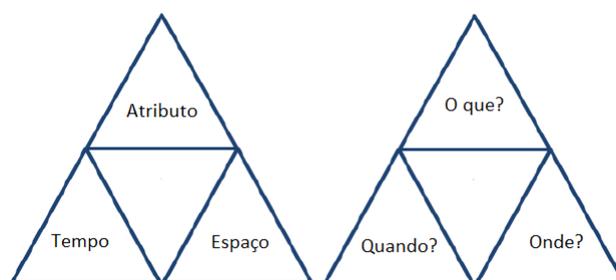


Figura 2.8: Arranjo Triangular.
Fonte: Peuquet (1994).

Peuquet (1994) considera três componentes ligados ao arranjo triangular para os dados espaço-temporais e associa o tempo como "quando", o espaço como "onde", e por fim, o atributo como "o que". Consequentemente com essa abordagem, é possível três tipos básicos de perguntas:

- **o que/onde/quando:** descreve o conjunto de fenômenos geográficos (o que) presentes em uma localização ou em um conjunto de localizações (onde), dada uma referência temporal (quando). Por exemplo: Qual o valor da temperatura da cidade de Araçatuba-SP no ano 2000?
- **onde/o que/quando:** descreve uma localização ou seu conjunto (onde) ocupada por um ou vários fenômenos geográficos (o que) em um dado conjunto de intervalos de tempo (quando). Por exemplo: Quais as áreas na cidade de Araçatuba-SP estavam ocupadas por plantações de cana-de-açúcar no período 2002-2005?
- **quando/o que/onde:** descreve o conjunto de períodos (quando) em que um determinado conjunto de fenômenos geográficos (o que) ocupou um conjunto de localizações (onde). Por exemplo: Qual o período em que a região onde hoje se encontra as plantações de cana-de-açúcar na cidade de Araçatuba-SP tiveram um NDVI menor que 0.

A representação espaço-temporal pode ser considerada uma visualização multidimensional, com os dados espaciais contendo as dimensões de latitude e longitude, a dimensão de tempo, e por fim, o atributo a ser analisado em um determinado tempo e espaço.

Esta representação é o comportamento dos objetos em sua trajetória de acordo com o tempo. Por exemplo, o movimento de um objeto que ocupa uma determinada área em um tempo t_1 , pode não estar na mesma posição quando analisado em um tempo t_2 , nem em um tempo t_n , conforme apresenta a Figura 2.9. Essa representação pode auxiliar, por exemplo, em um rastreamento histórico.

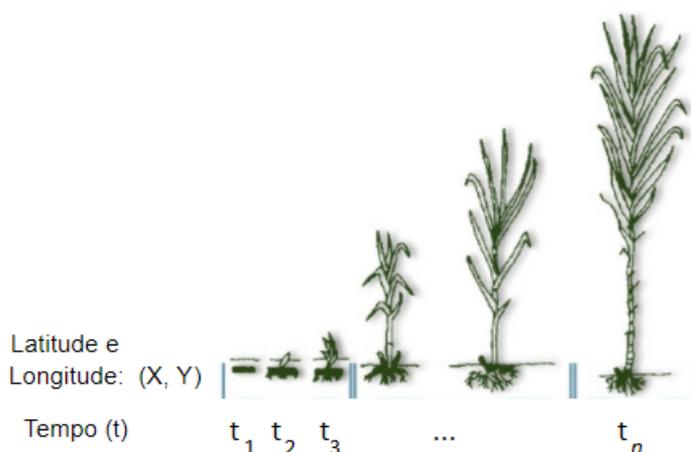


Figura 2.9: Variação de um objeto espacial em uma mesma latitude e longitude ao longo do tempo.

As aplicações de tecnologia de geoinformação normalmente possui representação estática podendo ser utilizada por um SIG (Sistema de Informação Geográfica) que é o mapa. No entanto, muitos conjuntos de fenômenos espaciais possuem representações dinâmicas, trazendo a necessidade da representação dos fenômenos que variam tanto no espaço como no tempo.

2.2.4 Caracterização dos Dados

As informações dos dados correspondem a atributos que podem ser caracterizados de acordo com diferentes critérios. A identificação das características dos atributos é a consideração inicial a ser realizada na escolha de uma técnica de visualização para um dado domínio de aplicação. Freitas et al. (2001) apresentam uma proposta de caracterização de dados/informação baseada em critérios como: classe (tipo) de informação, tipos de valores, natureza e dimensão do domínio; como apresenta a Tabela 2.1.

De acordo com o critério de Freitas et al. (2001) na classe de informação, os atributos podem representar características (categoria, atributo ordinal), simbolizando valores referentes a um determinado grupo e uma propriedade com valores escalares, vetoriais, que assumem

Tabela 2.1: Caracterização de classificação dos dados/informações.

Critério	Classes	Significado	Exemplo
Classe de Informação	Características	Característica isolada, independente (não há função associada)	Gênero
	Escalar	Grandeza escalar, amostrada de uma função	Temperatura
	Vetor	Grandeza vetorial, amostra de uma função	Grandeza física associada a um fluido
	Tensor	Grandeza tensorial, amostra de uma função	Grandeza física associada a um fluido
	Relacionamento	Relacionamento	Link num hiperdocumento
Tipo dos valores	Alfanumérico	Valores de identificação	Gênero
	Númérico	Valores ordinais, discretos ou contínuos	Temperatura
	Símbolo	Sub-atributo	Link num hiperdocumento
Natureza do Domínio	Discreto	Enumeração, conjunto finito ou infinito (de elementos)	Marcas de automóvel
	Contínuo	Todos os pontos no espaço 1D, 2D, 3D, nD	Superfície de um terreno
	Contínuo Discretizado	Regiões no espaço 1D, 2D, 3D, nD	Anos (tempo discretizado)
Dimensão do domínio	1D	Dado definido no espaço 1D	Medida de uma grandeza no tempo
	2D	Valor associado ao espaço 2D	Superfície de um terreno
	3D	Valor associado à posição no espaço 3D	Volumes de dados médicos
	nD	Valores no espaço n-dimensional	Dados de uma população

Fonte: (FREITAS et al., 2001)

valores inteiros ou reais dentro de um intervalo.

O tipo de valores dos atributos pode ser alfanumérico ou numérico e simbólico, representando a identificação de uma entidade ou fenômeno. A natureza do domínio indica se um dado está definido num domínio discreto, contínuo ou em um domínio contínuo discreto. E por fim, a dimensão de domínio é usada para a visualização das informações em um espaço de domínios unidimensional (1D), bidimensional (2D), tridimensional (3D) e n-dimensional (nD).

2.3 Visualização de Informação

Visualizar é tornar algo visual ou visível, é como obter uma imagem mental. Já visualização de acordo com Spence (2001) é a transformação dos conceitos abstratos em imagens reais ou mentalmente visíveis, para que possa ser facilmente compreendida. Portanto, visualização é a comunicação de informação usando representações gráficas (WARD; GRINSTEIN; KEIM, 2015).

A princípio, as imagens já eram usadas como um mecanismo de comunicação desde antes da formalização da linguagem escrita. Isso ocorre pelo fato de que a interpretação de uma imagem é realizada em paralelo dentro do sistema perceptivo humano, enquanto um texto é limitado pelo processo sequencial de leitura (WARD; GRINSTEIN; KEIM, 2015).

Deste modo, a visualização de informação ou visualização de dados é a representação dos dados na forma visual, definidos como informações que podem ser abstraídas em um formato gráfico. Baseando-se em representações visuais e em um mecanismo de interação ⁴, com o uso de suporte computacional, pode-se obter um maior entendimento das informações pelo usuário (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999).

A representação visual por meio de imagens consegue apresentar uma grande quantidade de informações em um espaço compacto, oferecendo vários níveis de detalhes para facilitar a compreensão. Assim, a visualização na forma de gráficos e imagens, usadas de um modo adequado, são ferramentas importantes para análise dos dados armazenados, demonstrando muitas vezes de maneira clara e efetiva as informações sem muito esforço cognitivo em comparação com a análise por meio de textos e tabelas.

Um estudo realizado por Card, Mackinlay e Shneiderman (1999), descreve que a visualização pode ampliar o entendimento dos dados, pois apresenta um grande volume de dados em um pequeno espaço de representação, e a utilização da representação por meio visual pode-se melhorar a detecção de padrões nas informações.

2.4 Representação Visual

Para representar os dados de forma visual, existe a necessidade de modelos gráficos, figuras ou imagens para mapear graficamente os conjuntos de dados (WARD; GRINSTEIN; KEIM, 2010).

Uma única imagem pode conter uma grande quantidade de dados, e pode ser interpretada mais rapidamente que um texto. Pois a interpretação de imagens é realizada em paralelo no sistema perceptual, já em um texto, a interpretação é realizada de modo sequencial, ou seja, linha-por-linha.

A imagem diferentemente do texto, pode ser independente de linguagens ou um idioma local, como, por exemplo, os símbolos, no qual alguns não precisam ser explicados e outros já estão fixados no nosso subconsciente (Figura 2.10).

⁴Mecanismo de Interação – por exemplo, a aplicação de zoom e redução na imagem.



Figura 2.10: Símbolos independentes de linguagem.

As representações visuais podem variar entre: gráficos tradicionais como os gráficos de ponto, barras, circulares e histogramas; tabelas textuais; uso de cores e símbolos geométricos; imagens ou mapeamento de um objeto no espaço físico e diagramas como árvores, redes e grafos. Essas representações facilitam o modo de visualização, de modo a, auxiliar o entendimento dos dados e podem ser classificadas de acordo com Freitas et al. (2001) como classe, tipo e a utilização; como apresenta a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classe de Representação Visual

Classe	Tipo	Utilização
Gráficos 2D e 3D	Pontos,	Representação da distribuição dos elementos no espaço domínio, representação da dependência/correlação entre atributos.
	Circulares,	
	Linha,	
	Barra de superfície (3D)	
Ícones, Glifos, Objetos Geométricos	Elementos geométricos 2D ou 3D diversos	Representação de entidades num contexto, representação de grupos de atributos de diversos tipos.
Mapas	Pseudo-cores,	Representação de campos escalares ou de categorias.
	Linhas,	Representação de linhas de contorno de regiões com isovalores.
	Superfícies,	Idem, no espaço 3D.
	Ícones e símbolos diversos	Representação de grupos de atributos (categóricos, escalares, vetoriais e tensoriais).
Diagramas	Nodos e arestas	Representação de relacionamentos diversos: é-um, é-parte-de, comunicação, sequência, referência, etc.

Fonte: (FREITAS et al., 2001)

Para construir visualizações eficientes, podemos aplicar algumas regras para a visualização de informação, como descreve Ellson e Cox (1988):

- Usar informações importantes, determinando quais dados serão exibidos; visto que, o excesso informação em uma imagem pode prejudicar a análise dos dados;
- Usar formas como ícones (glifos⁵) que geralmente representam quantidades vetoriais; como as linhas, setas e gráficos de vetores, para denotar informação direcional, indicando uma posição;

⁵Glifos - conjunto de ícones.

- Utilizar cores para os valores escalares, se o valor escalar não está associado com vetor, a sua representação deve ser realizada por meio do uso de cores, representando faixas de valores numéricos, tornando a visualização mais intuitiva, desde que as cores sejam utilizadas de modo adequado.
- Utilizar técnicas de computação gráfica para a representação dos dados das dimensões, como a transparência, sombreamento, textura, iluminação, entre outros.

2.5 Processo de Transformação de dados em Representação Visual

A informação em estado bruto deve ser processada, organizada e representada de uma forma visual compreensível para o usuário. Card, Mackinlay e Shneiderman (1999) propõe um modelo para representar o processo de visualização da informação; como apresenta a Figura 2.11.

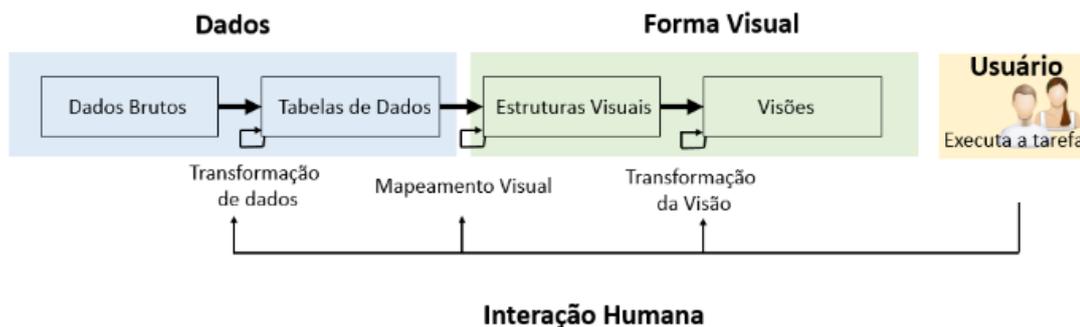


Figura 2.11: Modelo do processo de visualização de informação.
Fonte: Adaptado de Card, Mackinlay e Shneiderman (1999).

De acordo com o modelo, os dados brutos precisam passar por um processo de transformação de dados. Essa etapa organiza os dados em uma tabela no banco, gerando assim a tabela de dados. O processamento pode envolver a eliminação de dados redundantes, errados ou incompletos, e também pode incluir novas informações como, média e desvio; organizando os dados de uma maneira mais adequada.

A segunda etapa é o mapeamento visual, ou seja, construir uma estrutura visual (linear, temporal, mapa e árvore) que represente os dados da tabela, como o substrato espacial, as marcas visuais e suas propriedades gráficas.

Por último, tem-se a etapa de transformação visual, onde é possível modificar e entender as estruturas visuais por meio de operações básicas como: testes de localização, controles de ponto de vista, como ampliar e reduzir uma imagem, e percorrer uma imagem, entre outros. Essa etapa

envolve o ato de visualizar a representação visual por meio de uma imagem, o armazenamento adequado e a extração de informações importantes, para uma melhor interpretação humana.

2.5.1 Etapas da Visualização de Dados

Para Fry (2007) o processo de visualização de dados consiste em sete etapas, definidas como: aquisição, análise, filtragem, tratamento, representação, refinamento e interação.

1. Aquisição (*acquire*), corresponde a fase inicial, fase de obtenção dos dados, é a tarefa de selecionar os dados a serem processados.
2. Análise de dados (*parse*), fase em que por meio dos significados dos dados são organizadas estruturas e categorias.
3. Filtragem de dados (*filter*), fase em que se remove todos os dados que não são relevantes deixando apenas os de interesse.
4. Tratamento de dados (*mine*), aplicação de métodos de estatística ou mineração de dados para definir padrões ou colocar dados no contexto matemático.
5. Representação (*represent*) consiste em escolher um modelo visual básico podendo ser por meio de formas gráficas, lista ou árvore.
6. Refinamento (*refine*), consiste em melhorar a forma de representação básica e torná-la mais clara para uma visualização mais atraente.
7. Interação (*interact*), adiciona formas para possam permitir a manipulação de dados ou controlar os recursos tornando-os visíveis ou não.

2.5.2 Técnicas de Visualização de Informações

De acordo com Card, Mackinlay e Shneiderman (1999), existe uma diversidade de técnicas para gerar a representação visual de dados. Como a técnica Foco+Contexto, que abrange técnicas como: *Fisheye* (FURNAS, 1981), o *Browser Hiperbólico* (LAMPING; RAO, 1996), o *Perspectiva Wall* (MACKINLAY; ROBERTSON; CARD, 1991) e o *Table Lens* (RAO; CARD, 1994).

As técnicas para dados multidimensionais como: *Glyphs* (CHERNOFF, 1973) e Coordenadas Paralelas (INSELBERG; DIMSDALE, 1990; INSELBERG, 1985). Dentre outras técnicas

como *Tree-Maps* (JOHNSON; SHNEIDERMAN, 1991), *Cone Tree* (ROBERTSON; MACKINLAY; CARD, 1991) e *ScatterPlot* (FRIENDLY; DENIS, 2005).

Nessa seção será descrita a técnica de visualização Coordenadas Paralelas utilizada na ST-Vis.

2.5.2.1 Coordenadas Paralelas

Técnica proposta por Inselberg (1985), tem o objetivo de solucionar o problema de representar um conjunto de dados multidimensionais. As Coordenadas Paralelas são baseadas em representar cada dimensão com uma escala vertical paralela a todas as outras, mapeando um espaço n -dimensional em uma estrutura bidimensional que utiliza n eixos paralelos verticais equidistantes, denominados coordenadas, como apresenta a Figura 2.12.

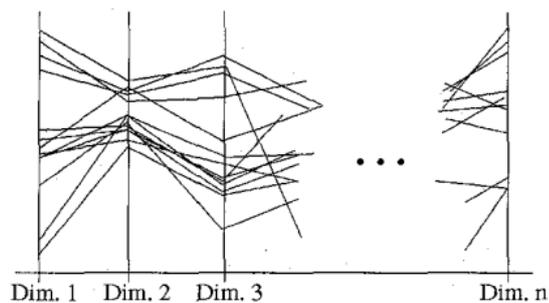


Figura 2.12: Técnica de Coordenadas Paralelas.

Fonte: (KEIM; KRIEGEL, 1996)

Os eixos correspondentes às dimensões são escalonados linearmente a partir do mínimo e máximo dos valores correspondentes à dimensão. Os eixos verticais representam as dimensões ou atributos dos dados. Cada item de dados é apresentado como uma linha poligonal, intersectando cada um dos eixos no ponto correspondente ao valor da dimensão considerada, permitindo a observação de padrões de acordo com a variação (KEIM; KRIEGEL, 1996).

De acordo com Keim e Kriegel (1996) embora o princípio da técnica seja mais simples, a mesma torna-se eficaz na revelação de uma vasta gama de características de dados, tais como suas distribuições e dependências funcionais. No entanto, uma vez que as linhas poligonais podem sobrepor-se, o número de instâncias que podem ser visualizadas é limitado. Para reduzir esse problema, pode-se atribuir cores para destacar instâncias, esconder ou alterar a ordem de dimensões, além da inserção de interação, no qual pode-se fazer filtragem ou seleção de dados. Em geral essa técnica permite transformar a busca por relações entre os atributos em um processo de reconhecimento de padrões mais intuitivo.

2.5.3 Limitações da Visualização

Na visualização de dados, a habilidade e limitação do sistema visual humano é um componente crítico no papel da percepção, pois, a capacidade humana é limitada, exigindo muitas vezes a atenção do usuário. Além das limitações humanas, existem as limitações computacionais, como a memória e a capacidade de processamento da máquina, as limitações de exibição que possuem um número finito de *pixels*, no qual torna-se dificultoso plotar uma quantidade relativamente grande de dados no *display*.

Percepção é um processo de reconhecer, discernir, organizar e interpretar informações sensoriais (DICIO, 2017), ou seja, o processo pelo qual interpretamos o mundo a nossa volta, formando uma representação mental do que nos cerca.

Segundo a *Gestalt School of Psychology* (KOFFKA, 2013), existem algumas "leis" que tentam descrever como as pessoas tendem a organizar elementos visuais em grupos ou conjuntos unificados quando determinados princípios são aplicados. Esses princípios são:

- Proximidade: ocorre quando os elementos são colocados próximos, assim tendem a ser percebidos como grupo(s) (Figura 2.13(a));
- Similaridade: quando os objetos se parecem um com outro (Figura 2.13(b));
- Continuidade: ocorre quando os olhos são "obrigados" a se mover através do objeto e continuar em outro objeto (Figura 2.13(c));
- Fechamento: ocorre quando um objeto está incompleto ou um espaço não está completamente fechado. Se o formato indicado for suficiente, as pessoas tendem a preencher inconscientemente as informações faltantes (Figura 2.13(d));
- Simetria: relação de paridade em respeito a altura, largura e comprimento das partes necessárias para compor um todo, ou seja, aquilo que pode ser dividido em partes, sendo que ambas as partes devem coincidir perfeitamente quando sobrepostas (Figura 2.13(e));
- Figura e Fundo: é um tipo de agrupamento perceptual que é uma necessidade vital para reconhecer objetos através da visão, ou seja, o sistema perceptual humano identifica de uma figura em segundo plano (Figura 2.13(f));
- Tamanho Relativo: refere-se à tendência de perceber visualmente o objeto que produz a imagem maior na retina como sendo mais próximo e o objeto que produz a imagem mais pequena na retina como sendo mais distante (Figura 2.13(g)).

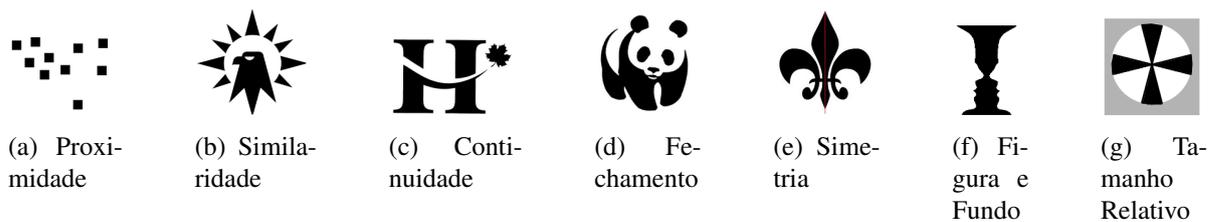


Figura 2.13: Leis de Gestalt.

Fonte: Gestalt... (2017), Koffka (2013).

Com os princípios aplicados de maneira correta, a forma de como as pessoas percebem o resultado da visualização, pode influenciar fortemente o seu entendimento. Além disso, os fatores humanos contribuem significativamente no processo de visualização e desempenham um papel importante no projeto e na construção de ferramentas.

De acordo com Ward, Grinstein e Keim (2015) o papel do usuário na interpretação dos dados por meio da visualização pode ser realizado com objetivos diferentes como :

- **Exploração:** quando o usuário deseja entender, interpretar e levantar hipóteses sobre os dados;
- **Confirmação:** quando o usuário já possui uma hipótese e deseja apenas confirmá-la;
- **Apresentação:** quando o usuário deseja apresentar um conceito ou um conjunto de fatos a um público.

Uma ferramenta pode abordar objetivos como a exploração dos dados, a confirmação de regras e hipóteses, quando há descoberta de novos conceitos ou hipóteses. Desta maneira, a ferramenta ST-Vis, desenvolvida neste trabalho, aplica os conceitos e algumas etapas do processo de visualização, como a obtenção de dados espaço-temporais, que são os dados a serem processados e analisados, além de fornecer uma representação visual por meio de mapas, textura e gráfico. E possui interações entre as visualizações destacando e animando os dados referentes as instâncias analisadas.

2.6 Trabalhos Relacionados

Na literatura, foram encontradas poucas ferramentas que tratam os dados espaço-temporais e geram uma visualização. Cada uma das ferramentas que tratam esses dados possuem focos e áreas diferentes, como dados econômicos, de criminalidade, de incêndio, entre outros.

Nesse contexto, existe a ferramenta VIS-STAMP (*Visualization System for Space-Time and Multivariate Patterns*) (GUO et al., 2006) que possui foco na análise de visualização de padrões por meio do agrupamento dos dados espaço-temporais, utilizando técnicas de visualização bi-dimensional.

A VIS-STAMP conta com uma representação temporal por meio de um *MapMatrix*, e a SOM (*Self Organizing Map*) uma representação por meio de cores associadas a um agrupamento. O *Space-Time Matrix* que organiza os padrões de dados multivariados em uma matriz temporal, que em cada célula contém um mapa cartográfico com cores associadas ao agrupamento em um determinado ano. E por último, utiliza a técnica de Coordenadas Paralelas, para a visualização de padrões multivariados (Figura 2.14(a)).

Uma das vantagens da VIS-STAMP é o fato de representar os dados espaço-temporais apresentando todos os atributos em uma única visualização e utilização do agrupamento por meio de cores. Uma das desvantagens é a utilização de cores não muito distintas, e a representação espacial ser disponibilizada por meio de um mapa estático, não possuindo interações como zoom e diminuição do foco, além de ficar restrito a determinadas regiões.

A ferramenta GeoSTAT (*GEOgraphic SpatioTemporal Analysis Tool*) (OLIVEIRA; BAPTISTA, 2012) inclui técnicas de visualização espacial e temporal com alguns recursos de mineração de dados por meio do software de aprendizagem Weka. Utiliza dados com base em focos de incêndio e eventos de falhas nas linhas de transmissão de energia.

O objetivo da GeoSTAT é encontrar evidências para provar a hipótese de que os incêndios que ocorrem próximos às linhas de transmissão poderiam ser a causa de prováveis falhas no sistema de energia. A GeoSTAT conta com uma visualização espacial por meio de um mapa interativo do Google Maps e um gráfico bidimensional *ScatterPlot* para a representação temporal (Figura 2.14(b)).

Uma das vantagens da ferramenta GeoSTAT é o fato de plotar dados com foco de incêndio em coordenadas de latitude e longitude em um mapa interativo do Google Maps e a desvantagem é o modo de como a representação temporal gerada foi representada.

A ferramenta *GE-based Visualization* (COMPIETA et al., 2007) gera uma visualização espaço-temporal para realizar uma análise exploratória de mineração dos dados (*K-means*). Esta ferramenta utiliza o mapa do Google Earth 3D animado para a representação espacial. Além disso, possui um painel dimensional que permite o controle do tempo por meio de uma barra deslizante (barra de tempo). Na representação visual os dados são organizados em algumas camadas e cada camada possui uma cor diferente (Figura 2.15(a)).

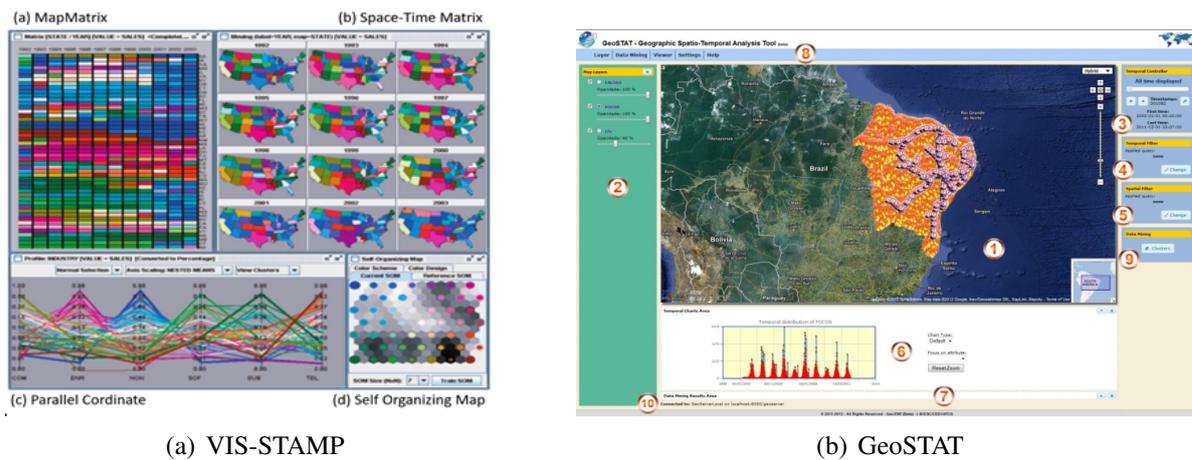


Figura 2.14: Ferramenta VIS-STAMP e GeoSTAT

Uma das vantagens da ferramenta *GE-based Visualization* é a barra deslizante de tempo, no qual os dados são alterados de acordo com a posição do cursor na barra. Uma desvantagem é não conseguir analisar a variação no tempo em uma única visualização, tornando difícil a detecção de regras e padrões.

A ferramenta *GeoVISTA CrimeViz* (ROTH et al., 2010) gera uma representação espacial por meio de um mapa do Google. A ferramenta analisa dados de criminalidade e destaca focos nas regiões por tipos de criminalidade, tais como: incêndio culposo, homicídio e abuso sexual. Sua representação temporal é realizada por meio de um histograma de frequência (Figura 2.15(b)).

Uma das vantagens da ferramenta *GeoVISTA CrimeViz* é o fato dos dados serem atualizados em tempo real por meio da internet. Uma desvantagem é o fato da visualização temporal ser representada em apenas um único gráfico.

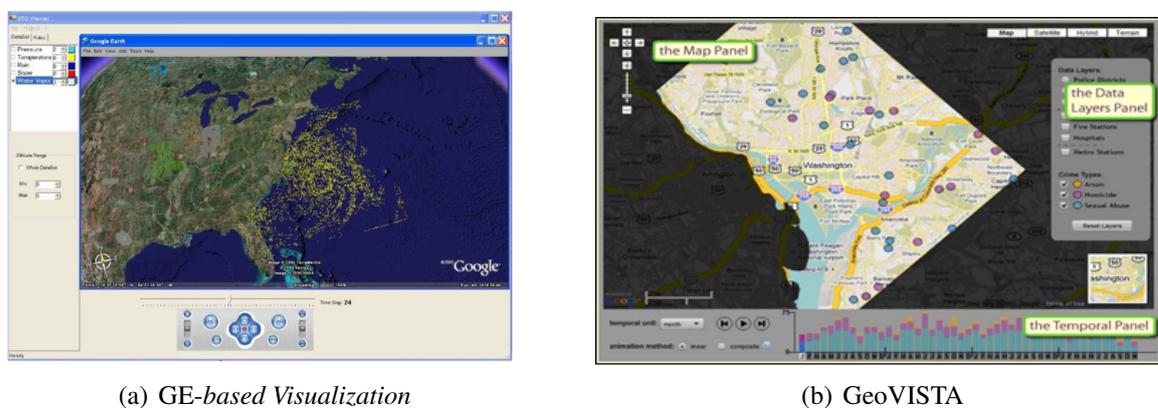


Figura 2.15: Ferramenta *GE-based Visualization* e GeoVISTA

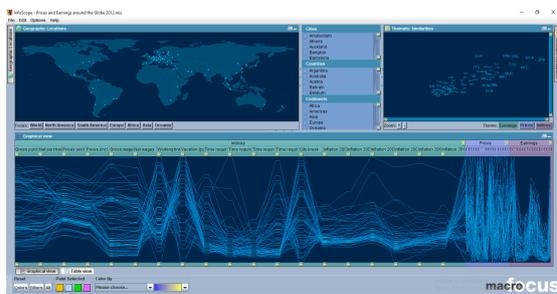
A ferramenta *InfoScope* (MACROFOCUS, 2015) é software pago, desenvolvido pela *Ma-*

crofocus InfoScope que conta com um mapa cartográfico para a representação espacial, um gráfico de Coordenadas Paralelas para visualizações multidimensionais (com dados econômicos sobre o valor de compra bruto e líquido, anos de inflação, entre outros), e a uma representação *ScatterPlot* de similaridade (pelo nome de cidades). A ferramenta aceita arquivos próprios com extensão *.mis* (*Macrofocus InfoScope*), além de ser comercializada (Figura 2.16(a)).

Uma vantagem na ferramenta é o conjunto de visualizações em um único display e as interações. Uma das desvantagens do InfoScope é o fato da representação espacial ser por meio de uma mapa cartográfico e apenas aceitar arquivos de extensão *.mis* e ser um software pago.

Entre as ferramentas que tratam os dados espaciais que variam ao longo do tempo, poucas focam na análise do NDVI, foco da ST-Vis. Dentre essas, destaca-se a ferramenta SATVeg (Sistema de Análise Temporal da Vegetação) (EMBRAPA, 2014), desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que analisa o NDVI. A SATVeg é uma ferramenta temporal, disponível via web, gratuita para a visualização de séries temporais por meio de um gráfico bidimensional de linha e conta com o auxílio de um mapa do Google (Figura 2.16(b)).

Uma das vantagens da SATVeg é o fato dos dados estarem disponíveis em um banco de dados. A desvantagem é o fato da representação temporal ser disponibilizada em apenas uma visualização, o que dificulta encontrar regras e padrões nos dados.



(a) Ferramenta InfoScope



(b) Ferramenta SATVeg

Figura 2.16: Ferramenta InfoScope e SATVeg

A Tabela 2.3 apresenta um resumo das principais características da ferramentas correlatas apresentadas nessa seção.

Tabela 2.3: Trabalhos Relacionados

#	ST-Vis	VIS-STAMP	GeoSTAT	Geo-based Visualization	SatVeg	GeoVISTA	InfoScope	
Dados	Espacial	x	x	x	x	x	x	
	Temporal	x	x	x	x	x	x	
	Temático	Classe (tipo e cidade)						
		NDVI	x			x		
	Outros		x	x	x	x	x	
Visualização	Espacial	x	x	x	x	x	x	
	Temporal	x	x	x	x	x		
	Temática	x	x				x	
Tipo de Arquivo (Carregado)	.csv	x						
	.txt	x						
Licença	arquivo próprio							
	gratuita	x			x			
Ferramenta disponível via Web ou para Download		x			x	x	x	

2.7 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada de forma breve a fundamentação teórica que inclui os conceitos de dados, juntamente os com dados espaciais, temporais e espaço-temporais, além da caracterização dos mesmos. Este capítulo também descreve sobre a visualização de informação, a representação visual, e por último o processo de transformação dos dados.

Com relação aos dados espaciais, nota-se que quando se trata de localização, uma das visualizações mais utilizadas são as representações por meio de pontos, linhas e polígonos, que representam os mapas. Com os dados temporais, nota-se a existência de um histórico com as informações temporais, sendo representados por gráficos.

Os dados espaço-temporais, combinam dados temporais e espaciais para descrever a realidade de um objeto no mundo real, fornecendo informações históricas. Embora representar os dados espaço-temporais seja uma tarefa complexa, combinar as representações de dados temporais e espaciais de modo paralelo e simultâneo auxiliam o usuário na interpretação dos dados.

O próximo capítulo aborda a proposta da ferramenta ST-Vis, apresentando a motivação para o desenvolvimento da ferramenta e a arquitetura para a geração da visualização espaço-temporal. Apresentando as representações visuais dos dados espaciais, temporais e do gráfico de coordenadas paralelas em uma única visualização no *display*.

Capítulo 3

PROPOSTA DA ST-VIS: *Spatio-Temporal* *VISualization*

3.1 Motivação

A análise de dados complexos como os dados espaço-temporais é, de fato, uma tarefa árdua e complexa, pois interpretar e compreender informações obtidas por meio de tabelas textuais é uma tarefa cansativa que demanda um certo tempo e muita atenção. Assim, existe a necessidade de desenvolver modelos espaço-temporais para representar dados que variam tanto no tempo como no espaço.

Deste modo, o usuário consegue compreender mais rapidamente os dados e por meio desses modelos consegue até detectar padrões nas informações. Por isso, foi desenvolvida a ferramenta ST-Vis que auxilia o usuário na análise de dados espaciais que variam ao longo do tempo, ou seja, representa esses dados por meio de uma visualização espaço-temporal.

O trabalho enfatizou a representação de dados espaço-temporais disponibilizados pela EMBRAPA, que em sua maioria são compostos de arquivos de dados espaço-temporais com a variação da cobertura vegetal de regiões do estado de São Paulo, ou seja, a variação do índice de vegetação (NDVI).

O valor do NDVI varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício da presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício da presença de solos descobertos, rochas ou água; teoricamente o valor 0 é referente à uma vegetação sem folhas, submetido a condição de estresse hídrico por déficit de água no solo (INSA, 2014; JR et al., 1974).

Esses dados foram obtidos por meio de captação de imagens de satélites como o sensor

AVHRR/NOAA (*Advanced Very High Resolution Radiometer* a bordo de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration*), e o MODIS/Terra (*MODerate Imaging Spectroradiometer* a bordo da plataforma Terra) e possuem variáveis como a latitude e longitude do objeto ou o ponto a ser analisado, e a variação do NDVI através do tempo desse objeto.

3.2 Definição dos Dados a serem visualizados

Sejam os dados utilizados na visualização espaço-temporal, limitados em uma lista de n registros, (r_1, r_2, \dots, r_n) e cada registro r_i consiste em uma ou mais observações ou variáveis (v_1, v_2, \dots, v_m) . Considera-se que os dados utilizados na visualização espaço-temporal (latitude, longitude, data e NDVI) consistam em uma lista de m variáveis. Cada variável v_i consiste em uma ou mais observações, podendo ser números ou *strings* e cada variável pode ser classificada como independente (iv_i) ou dependente (dv_i).

Uma variável independente é aquela cujo o valor não é afetado por outra variável, como o tempo (data) e a localização (latitude e longitude). Por outro lado, uma variável dependente é aquela cujo o valor é afetado por uma ou mais variáveis independentes associadas, como o NDVI (presente na base de dados espaço-temporal analisada), no qual o seu valor é afetado pela variável tempo (data) e local (latitude e longitude). Deste modo, pode-se representar formalmente um registro como

$$r_i = (iv_1, iv_2, \dots, iv_{m_i}, dv_1, dv_2, \dots, dv_{m_d})$$

onde m_i é o número de variáveis independentes e m_d é o número de variáveis dependentes. Assim, temos que $m = m_i + m_d$.

3.3 Arquitetura

Para gerar a visualização espaço-temporal (Figura 3.1 - (iv)) foram utilizadas técnicas de visualização espacial e visualização de informação. A ST-Vis é uma ferramenta web composta por uma arquitetura (Figura 3.1) com três tipos de visualizações:

- (i) Visualização Espacial - representada por meio de uma mapa;
- (ii) Visualização Temporal - representada por meio da Textura Temporal formada por uma textura de cores;

(iii) Visualização Multidimensional - representada por meio do gráfico de Coordenada Paralelas.

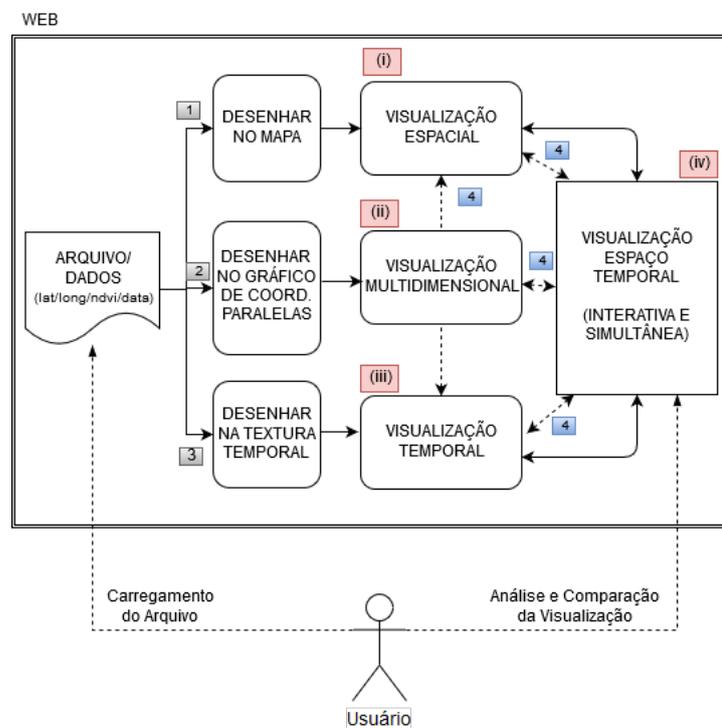


Figura 3.1: Arquitetura da ST-Vis

As visualizações geradas pela ferramenta interagem de modo simultâneo entre si, tornando a visualização mais intuitiva ao usuário. Assim, contextualizando de forma simples (Figura 3.1), o usuário por meio da ferramenta via web, carrega o arquivo de dados (separado por vírgulas) que deseja visualizar, as informações são carregadas na ST-Vis no qual (Figura 3.1 - 1) as variáveis de latitude e longitude são manipuladas para a geração do mapa, que representa a visualização espacial (Figura 3.1 - (i)).

Ao mesmo instante, (Figura 3.1 - 2) as variáveis de latitude, longitude, data e NDVI são manipuladas para a geração do gráfico de Coordenadas Paralelas, que representa a visualização multidimensional (Figura 3.1 - (ii)). E por fim, (Figura 3.1 - 3) as variáveis de data e NDVI são manipuladas para a geração da Textura Temporal, que é uma textura de cores, representando uma visualização temporal (Figura 3.1 - (iii)).

Carregada as visualizações (i), (ii) e (iii), as mesmas possuem alguns eventos (Figura 3.1 - 4) como a interação e alteração das informações por meio das visualizações, pois o simples passar do mouse nas instâncias habilita os eventos.

3.3.1 Visualização Espacial

A ST-Vis utiliza um mapa, obtido meio de uma API do Google Maps, para gerar a visualização espacial, em que são plotados marcadores, ou seja, os pontos verdes no mapa, como pode ser visualizado na Figura 3.2. Esses pontos são dados espaciais referentes às variáveis de latitude e longitude.



Figura 3.2: Visualização Espacial - Mapa

3.3.2 Visualização Temporal

Um dos objetivos da ST-Vis é representar os dados espaço-temporais, para iniciar uma visualização espaço-temporal foi focado nos dados sobre o índice de vegetação (dados espaço-temporais). Deste modo, foi elaborada a Textura Temporal para representar esse índice, sendo uma representação temporal.

A Textura por meio de cores é uma variável visual, que foi usada para mapear intervalos de valores do índice de vegetação para uma escala de cores em intervalos de tempo contínuo. A Textura Temporal mapeia os dados temporais (datas) de uma única latitude e longitude (ponto verde no mapa - Figura 3.2) de forma linear, associando os valores numéricos do índice de vegetação a cores proporcionais à variação da classe desse índice, ou seja, o NDVI, segundo cores utilizadas pelos especialistas da área como apresenta a Figura 3.3.

1 a 0.8	- Alto
0.8 a 0.6	- Mediamente Alto
0.6 a 0.4	- Moderadamente Baixo
0.4 a 0.2	- Baixo
0.2 a 0	- Muito Baixo
Menor que 0	- Baixíssimo

Figura 3.3: Variação do Índice de Vegetação (NDVI)

Fonte: Adaptado de Aquino e Oliveira (2012)

Devido a associação dos valores de NDVI com cores, a ST-Vis representa os dados temporais de forma linear, na qual cada linha representa o período de um ano e o usuário pode escolher a granularidade dos seus dados, sendo quinzenal ou mensal (Figura 3.4).

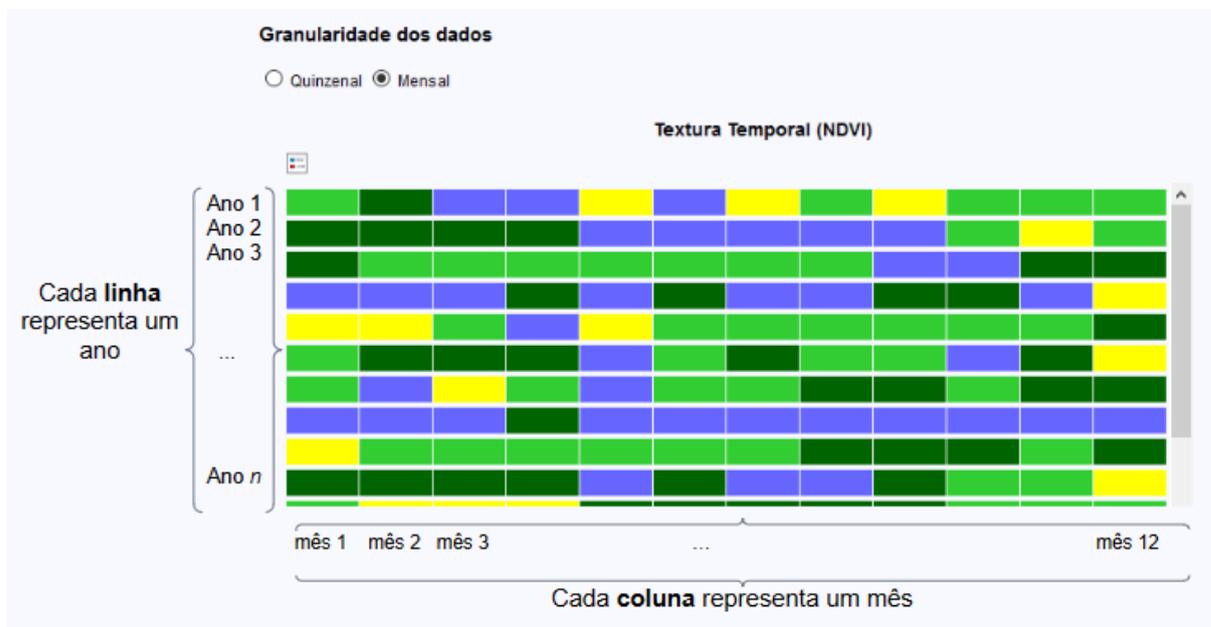


Figura 3.4: Visualização Temporal - Textura Temporal (1)

Essa visualização combina a leitura de toda a variação do índice de vegetação com uma "visão geral", sendo que cada *layout* de cor está com base a uma granularidade de tempo para um único ponto no espaço.

Considere uma série temporal $t = (t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n)$, onde t_i representa o valor de uma medida (NDVI) colhida no tempo i , associada à sua localização X e Y (longitude e latitude) é chamada de instância s . Uma instância s é representada por $s = (X, Y, t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n)$, onde n é o número de valores contidos na instância s .

Ao escolher uma granularidade mensal, a ST-Vis exibe a Textura Temporal com n linhas, onde cada linha contém 12 colunas, assim cada linha representa o período de um ano (Figura 3.4). Caso o usuário escolha a granularidade quinzenal, a ferramenta exibirá a Textura Temporal com n linhas contendo 24 colunas, como apresenta a Figura 3.5.

3.3.3 Visualização Multidimensional

Para obter uma representação visual de todos os dados, foi adicionado a ST-Vis o gráfico de Coordenadas Paralelas. Esse gráfico foi introduzido por Inselberg (1985), no qual é possível representar dados multidimensionais, ou seja, dados com mais de uma dimensão. Utilizando

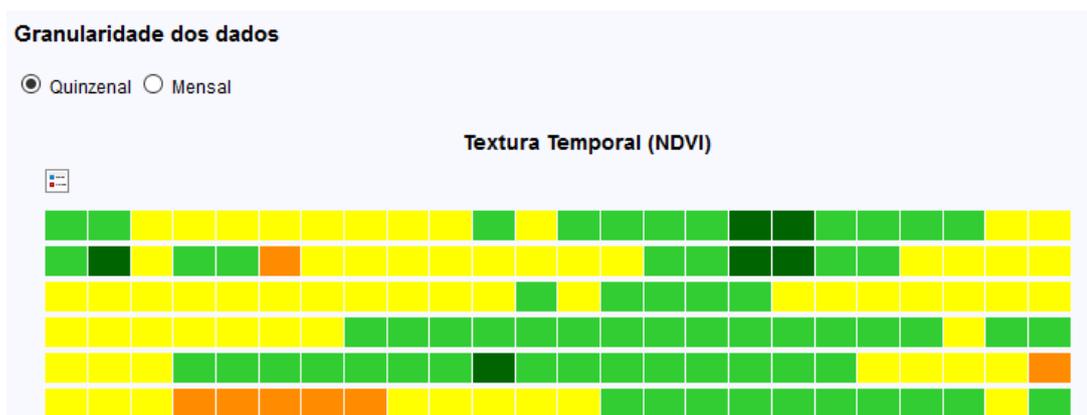


Figura 3.5: Visualização Temporal - Textura Temporal (2)

linhas verticais chamados eixos e linhas horizontais, exibindo suas dimensões de forma paralela umas com as outras em um plano bidimensional. Assim, uma instância é plotada como uma polilinha que cruza cada eixo em uma posição proporcional ao seu valor para essa dimensão.

Essa técnica representa os dados multidimensionais utilizando linhas verticais e horizontais. Cada linha vertical indica uma dimensão (ou atributo) e os valores das dimensões são mapeados para pontos nessas linhas verticais, de forma que cada item de dado seja representado como uma linha horizontal que intercepta cada linha vertical em seu ponto correspondente ao valor de cada atributo, formando um aglomerado de linhas horizontais.

A representação visual gerada pela técnica Coordenadas Paralelas permite a identificação de algumas características e observação de padrões, como diferenças na distribuição dos dados e correlação entre atributos. Deste modo, também pode-se identificar pontos de passagem semelhantes ou pontos (linhas) isolados.

O gráfico de Coordenadas Paralelas permite relacionar as informações de dados por meio de linhas horizontais (linha azul) que percorrem todos os eixos paralelos na representação visual (Figura 3.6). Cada eixo, ou seja, a linha horizontal é uma dimensão, para cada linha vertical pode ser um atributo diferente de um objeto, como por exemplo, a variação do NDVI.

O código do gráfico de Coordenadas Paralelas obtido, foi reaproveitado por meio da plataforma de hospedagem de código-fonte GitHub, no qual o código utilizado foi criado por Chang (2012) e colaboradores, deste modo, o mesmo foi modificado e adaptado para a ferramenta ST-Vis.

A ST-Vis por meio de Coordenadas Paralelas gera uma representação visual de dados espaciais, temporais e temáticos de forma simultânea, pois associa vários eixos paralelos a dimensões temporais (data), espaciais (latitude e longitude), e temáticas (classe, cidade) como apresenta a Figura 3.7.

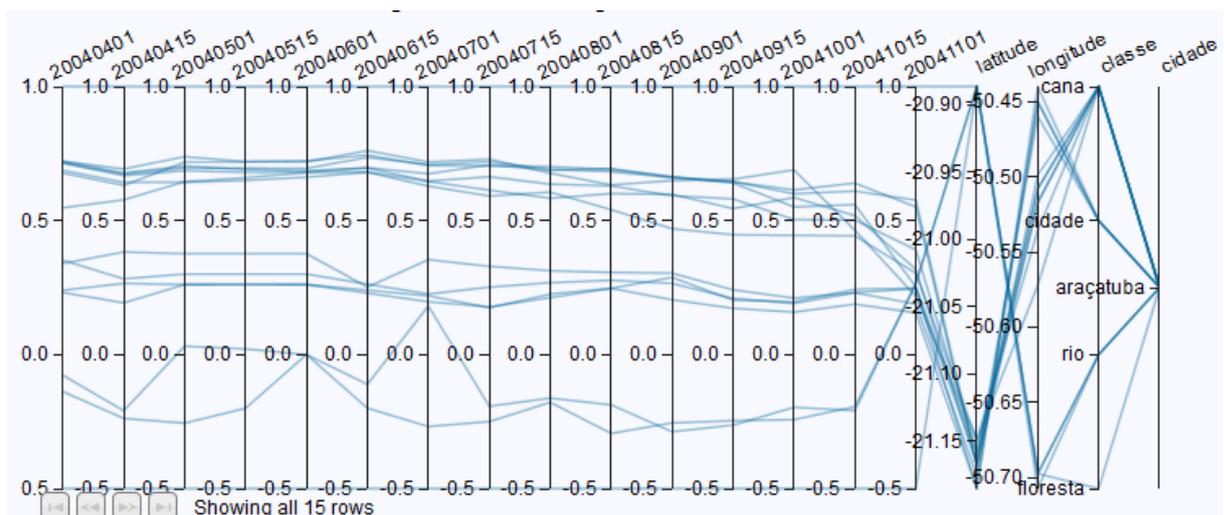


Figura 3.6: Visualização Multidimensional - Gráfico de Coordenadas Paralelas

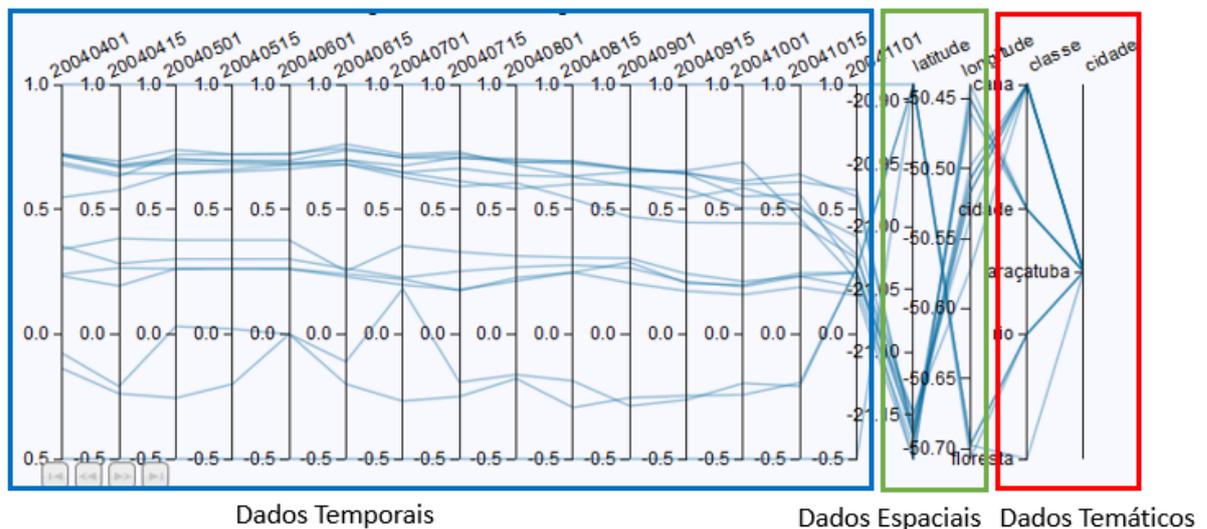


Figura 3.7: Visualização Multidimensional - Gráfico de Coordenadas Paralelas (dados espaciais, temporais e temáticos)

Esse gráfico visa facilitar a exploração e a compreensão dos dados, representando-os de forma simultânea, pois apresenta em uma única visualização os dados espaciais, temporais e temáticos.

3.4 Visualização Espaço-Temporal

Para obter uma visualização espaço-temporal, a ST-Vis representa visualmente os dados espaciais por meio do mapa, os dados temporais por meio da textura e todos os dados por meio do gráfico de coordenadas paralelas em uma única apresentação no *display* do computador. Deste modo, auxilia o usuário na compreensão das informações por meio do conjunto de visualizações

paralelas.

As visualizações possuem interações entre si e estão associadas a uma tabela, que exhibe todos os dados carregados do arquivo (carregado pelo usuário). Desta forma, ao percorrer a tabela com o cursor do mouse, destaca-se uma linha horizontal no gráfico de Coordenadas Paralelas, o marcador do mapa começa a saltitar e é gerada a Textura Temporal (Figura 3.8).

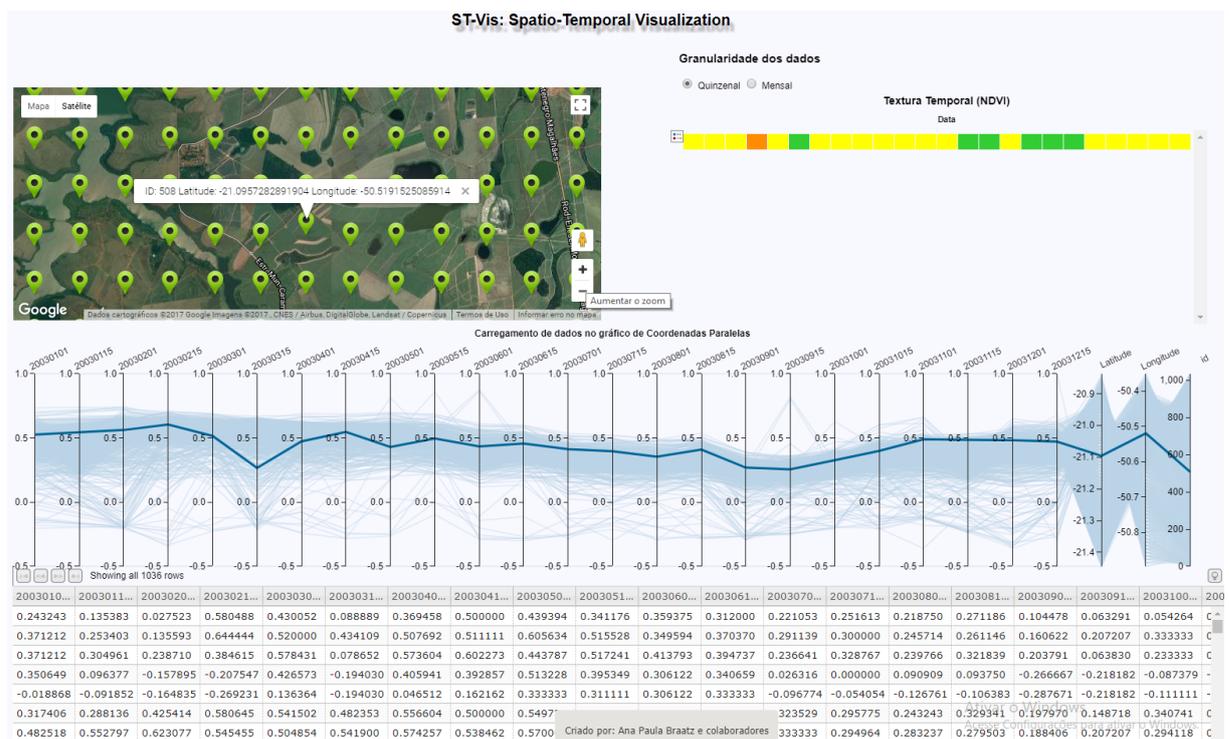


Figura 3.8: Visualização Espaço-Temporal - ST-Vis

3.5 Representações Visuais utilizadas nos Trabalhos Correlatos

Na tabela 3.1 é apresentado uma comparação dos mecanismos de representações visuais usado pela ST-Vis e os trabalhos correlatos. Com essa comparação podemos verificar que a maior parte das ferramentas utilizam o mapa interativo Google Maps para a visualização espacial. No entanto, podemos observar que para a análise temporal, cada ferramenta fornece um tipo de visualização diferente, focando na melhor forma de representação dos dados de análise.

Tabela 3.1: Tipos de Representações Visuais

#		ST-Vis	VIS-STAMP	Geo-STAT	Geo-based Visualization	SatVeg	Geo-VISTA	Info-Scope
Espacial	Mapa Google (interativo)	x		x	x	x	x	
	Mapa Cartográfico		x					x
Temporal	Gráfico Bidimensional <i>Scatter Plot</i>			x				
	<i>Scatter Plot</i> 3D				x			
	Histograma						x	
	<i>Map Matrix /</i> Textura Temporal	x	x					
	Gráfico Bidimensional (Linha)					x		
Outras	Coordenada Paralela	x	x					x
	<i>Space-time Matrix</i>		x					
	Barra de dimensão de tempo				x			

3.6 ST-Vis: Spatio-Temporal VISualization

A ST-Vis diferentemente das ferramentas citadas nos trabalhos relacionados, fornece uma visualização simultânea e interativa dos dados espaço-temporais. A ST-Vis representa por meio da Textura Temporal (variação de cores) as variações do NDVI em cada ponto (marcador) carregado pelo arquivo.

O arquivo carregado, possui o formato CSV (*Comma-Separated Values*), ou seja, separado por vírgulas, e ao carregar exibi as informações de maneira simultânea no mapa, no gráfico de Coordenadas Paralelas, na tabela e na Textura Temporal (Figura 3.9). Todos os dados carregados na tabela interagem com as demais visualizações.

Quando o usuário percorre as instâncias da tabela, são habilitados alguns eventos. A linha horizontal no gráfico de Coordenadas Paralelas é destacada (azul escuro), o marcador do mapa referente a latitude e longitude começa a saltitar e por fim, é exibida a Textura Temporal, onde cada cor representa o valor de variação do índice de vegetação, ou seja, o NDVI (Figura 3.9).

Os valores dos dados a serem carregados podem ser normalizados (Figura 3.10) ou não (Figura 3.11), dependendo de como o usuário requer a visualização. Com as Figura 3.9 e Figura 3.11, podemos observar a diferença entre uma instância de mesma latitude e longitude

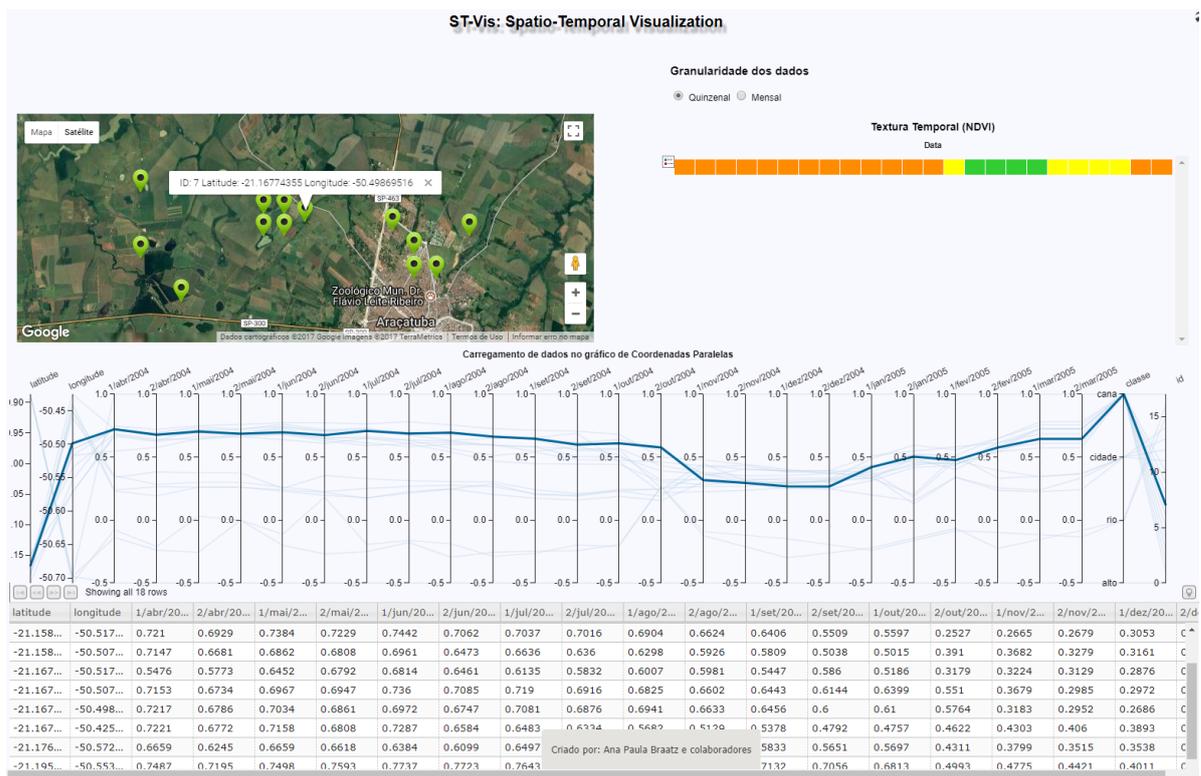


Figura 3.9: Ferramenta ST-Vis

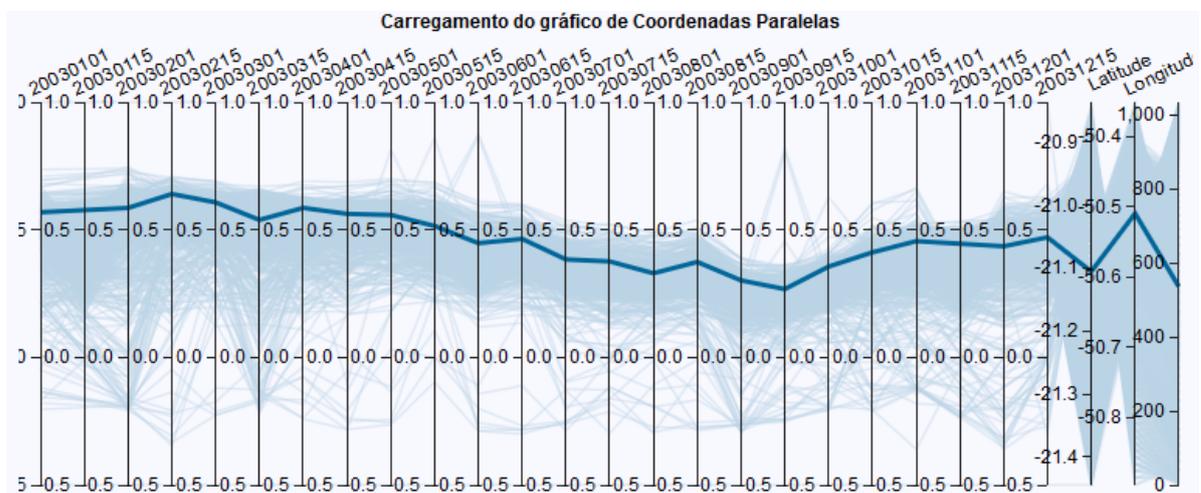


Figura 3.10: Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (normalizado)

normalizada e não. Uma visualização com os dados normalizados, tem-se um valor mínimo e um valor máximo estipulado pelo usuário, já o não normalizado, os valores mínimos e máximo podem ser diferentes de acordo com os dados obtidos.

Existe uma função nos eixos do gráfico de Coordenadas Paralelas no qual o especialista pode selecionar alguns focos de interesse, reduzindo assim o volume dos dados, como apresenta o quadrado cinza na Figura 3.12. Essa seleção permite a filtragem das instâncias na visualização visando simplificar a visualização e facilitar a interpretação dos dados. Essa seleção pode ser

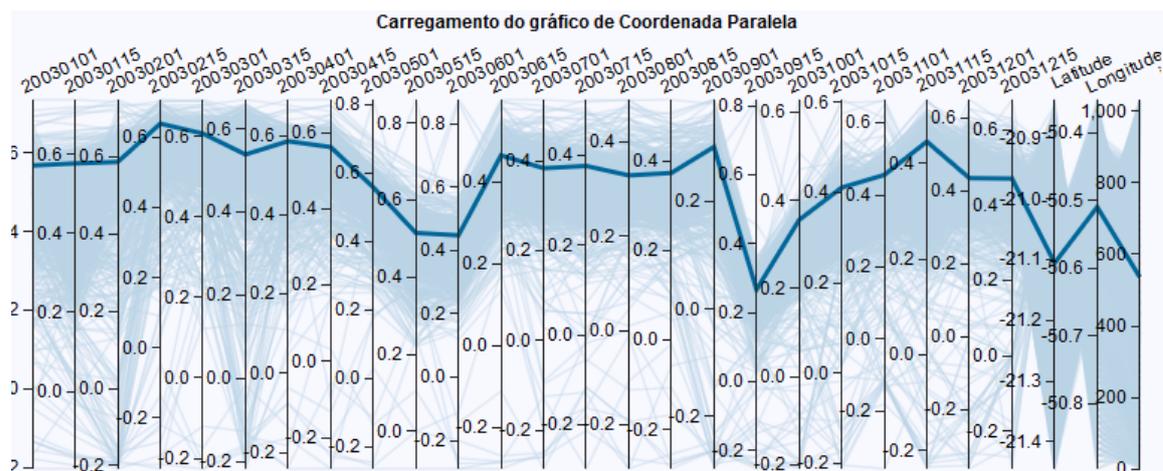


Figura 3.11: Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (não normalizado)

realizada em todos os eixos do gráfico de Coordenadas Paralelas.

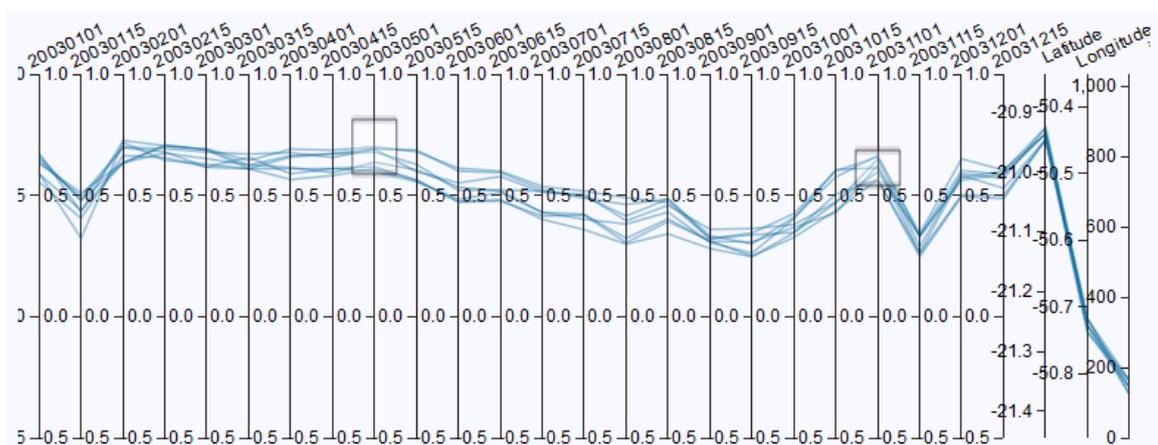


Figura 3.12: Ferramenta ST-Vis - Gráfico de Coordenadas Paralelas (seleção de focos de interesse)

O protótipo também permite a realização de duas consultas simultâneas em diferentes regiões. Assim, o usuário consegue comparar as regiões entre si, relacionando os dados de acordo com o foco de interesse (Figura 3.13). Por exemplo, o usuário consegue comparar a variação do índice de vegetação em regiões diferentes em um mesmo período.

3.6.1 Vantagem e Desvantagens

Por meio da visualização apresentada pela ferramenta ST-Vis, pode-se observar que a utilização do gráfico Coordenadas Paralelas para a análise dos dados gera menos esforço cognitivo ao detectar correlações entre os dados quando há um aglomerado de linhas e também na detecção de *outliers* quando há valores atípicos no conjunto de dados, pois os mesmo pode apresentar um grande afastamento das demais da séries.

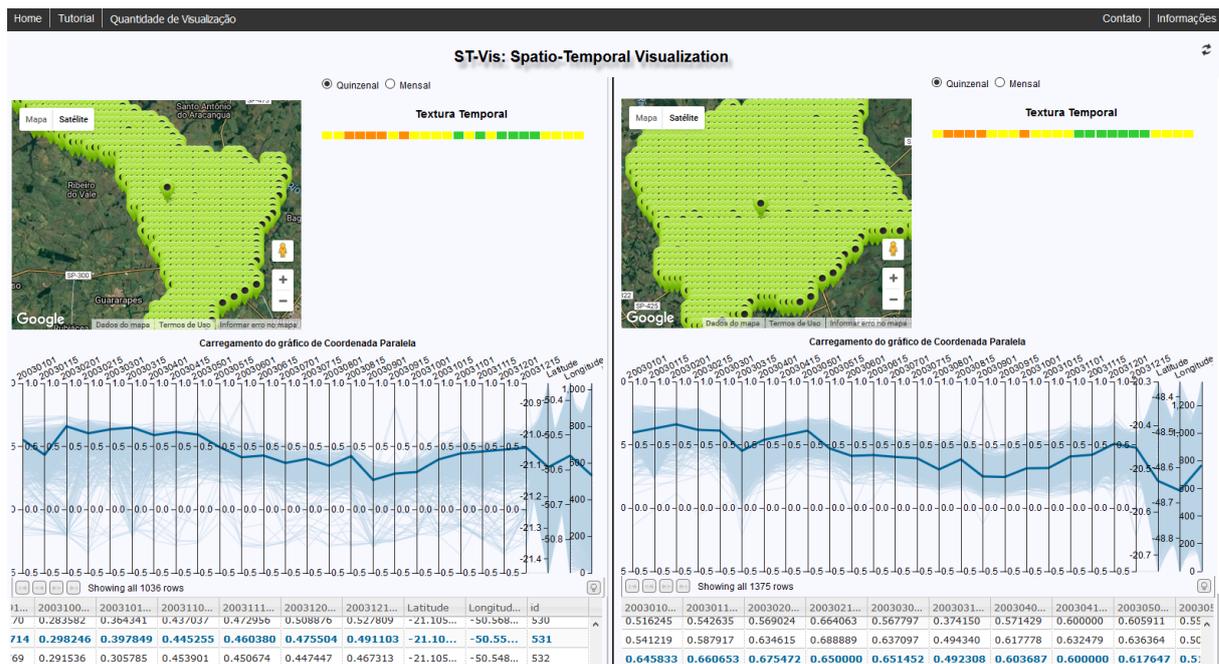


Figura 3.13: Consulta simultânea por meio da Ferramenta ST-Vis (visualização em duas áreas distintas)

Para evitar a aglomeração na representação visual dos dados, a ferramenta oferece a seleção de dados nos eixos para a filtragem de instâncias, concentrando a visualização no foco de interesse do usuário e facilitando a interpretação dos dados.

A Textura Temporal pode ser ajustada de acordo com a granularidade desejada pelo usuário e destaca o ponto de análise por meio da representação espacial.

Com a visualização proposta, o usuário analisa de modo simultâneo as correlações espaciais e temporais dos dados. O modelo de representação proposto apresenta certas vantagens e desvantagens. Tem-se como vantagens:

- Maior clareza na visualização (se utilizada de modo adequado);
- Fácil análise do panorama geral;
- Detecção de padrões de maneira mais intuitiva (tanto no gráfico de Coordenadas Paralelas como na Textura Temporal).
- Detecção de *outliers* sem muito esforço cognitivo.
- Destaque nas linhas analisadas;
- Filtragem de instâncias por meio dos eixos;

- Exibição de vários atributos simultaneamente (com poucos dados), sem congestionamento visual;
- Visualização Espacial simultânea com a Visualização Temporal;
- Destaque no ponto espacial analisado (ponto saltitante).

Uma das desvantagens do protótipo proposto é o fato de não ser dinâmico como um vídeo e quando é carregado um número alto de instâncias as linhas horizontais da visualização com a Coordenadas Paralelas ficam sobrepostas, prejudicando de certo modo a análise dos dados. Porém, com a interação entre as visualizações e a seleção nos eixos, o usuário pode analisar apenas as instancias de interesse, filtrando alguns dados.

3.7 Considerações finais

No presente capítulo foram apresentadas a motivação e escolha dos dados para o desenvolvimento da ferramenta ST-Vis, e a arquitetura da ferramenta apresentando as representações visuais dos dados espaciais, temporais e temáticos.

A ferramenta conta com um conjunto de visualizações que combinadas formam uma visualização espaço-temporal, sendo representada por meio de mapa, textura temporal e o gráfico de coordenadas paralelas.

A ST-Vis como a maioria das ferramentas atuais conta com um mapa interativo, no qual pode-se aplicar zoom e diminuição do foco na região analisada, e utilização de cores para diferenciar faixas da variação do NDVI, como é utilizado em gráficos presentes no cotidiano, como por exemplo, gráficos de temperatura.

Diferente das ferramentas atuais a ST-Vis está focada na representação espaço-temporal de dados sobre a variação do NDVI, e sua representação visual dos dados espaciais não está restrita a regiões brasileiras, podendo carregar dados de variação do NDVI de qualquer região do globo terrestre.

Capítulo 4

RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA ST-VIS: *Spatio-Temporal VISualization*

4.1 Descrição do método de Avaliação

Foram realizadas duas formas de avaliação para a ferramenta ST-Vis, sendo inicialmente apresentada de forma breve uma explicação sobre as visualizações geradas pela ST-Vis.

Uma das avaliações foi por meio de uma conversa com três especialistas, em que foi relatado que uma das maneiras de verificar a variação do NDVI de forma temporal é por meio de análise comparativa de imagens, com o uso de ferramentas específicas que examinam imagens geralmente providas de satélites. Algumas dessas ferramentas são o *Land Change Modeler* (LCM), o *Spectral Profile* e o MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Simulations*), sendo que a primeira é um módulo adicional do software ArcGIS, e as duas últimas são *plugins* do QGIS. Para a comparação das imagens, é realizada a contagem dos *pixels* de cada uma delas e verificado se existe alguma alteração. Muitas vezes é necessária a realização de correção das imagens antes de análise da variação do NDVI, para que possuam a mesma característica espectral.

O primeiro especialista relatou que normalmente se produz um conjunto temporal de imagens do NDVI e depois é realizada uma análise de sobreposição entre as imagens para assim conseguir quantificar a variação. Esse especialista ainda destacou que é realizada a junção das imagens como banda, ou seja, um empilhamento de imagens de NDVI com suas datas correspondentes. Em seguida, é utilizada uma ferramenta de gráfico espectral para analisar o valor dos *pixels* e assim visualizar as variações temporais. O segundo especialista mencionou que algumas vezes utiliza ferramentas de geração de gráficos como o XLSTAT ¹ e o Excel.

¹software estatístico com entrada de dados pelo Microsoft Excel para análise de dados.

O terceiro especialista relatou que existem estatísticas de séries temporais como o teste de *Mann-Kendall*. Este teste é um teste sequencial, não paramétrico utilizado para determinar se uma série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa, no qual testa se a série varia ao longo do tempo. Por este fato, houve a sugestão de comparar a média entre os períodos que podem ser selecionados pelo usuário para uma análise estatística.

Houve uma sugestão de modificação para as cores da Textura Temporal, na qual os especialistas sugeriram a inversão das cores na análise temporal do NDVI. Essa alteração se justifica pois, na área de geologia e sensoriamento remoto não é comum seguir o critério especificado em (AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B., 2012). Eles também explicaram que é mais intuitiva a inversão, pois a utilização das cores verde e verde escuro são mais apropriadas para valores altos de NDVI, ou seja, maiores índices de vegetação.

Os especialistas relataram que a ST-Vis é mais prática para analisar a variação temporal do índice de vegetação. O primeiro especialista destacou que ambas as visualizações propostas podem ser claramente entendidas e visualizadas, principalmente devido a explicação inicial sobre a ferramenta.

A segunda avaliação da ferramenta foi por meio de um formulário na web ² de múltipla escolha para descobrir se a visualização gerada na ST-Vis auxilia o usuário na interpretação dos dados espaço-temporais.

O formulário foi disponibilizado a 3 especialistas de domínio na área, 7 alunos de agromercado, 22 alunos e professores da área de computação e 5 alunos de outras áreas, totalizando 37 pessoas que responderam o formulário.

Nesse formulário houve uma breve explicação de como o usuário pode analisar o índice de vegetação em uma visualização espaço-temporal, explicando o comportamento de uma região com área predominante de cana, área com água (rio, lago ou represa) e área urbana (cidade).

Assim, o formulário forneceu algumas imagens para o usuário analisar e pediu que o mesmo responde-se as seguintes perguntas para a Imagem 1 (disponibilizada no formulário):

Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal, é possível identificar essa região com comportamento produtor de cana-de-açúcar? Essa pergunta obteve um acerto de 96.7% nas respostas (Figura 4.1(a)).

Pergunta 2: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o plantio de cana-de-açúcar nessa região? Essa pergunta obteve um acerto de 90%

²https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc-sq-0VzwWRHQ-UzsnUgRDDpscPvgfSLrdcN3sQYMiBkBEhw/viewform?usp=sf_link#responses

nas respostas (Figura 4.1(b)).

Pergunta 3: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o término do corte de cana-de-açúcar nessa região? Essa pergunta obteve um acerto de 76.7% nas respostas (Figura 4.1(c)).

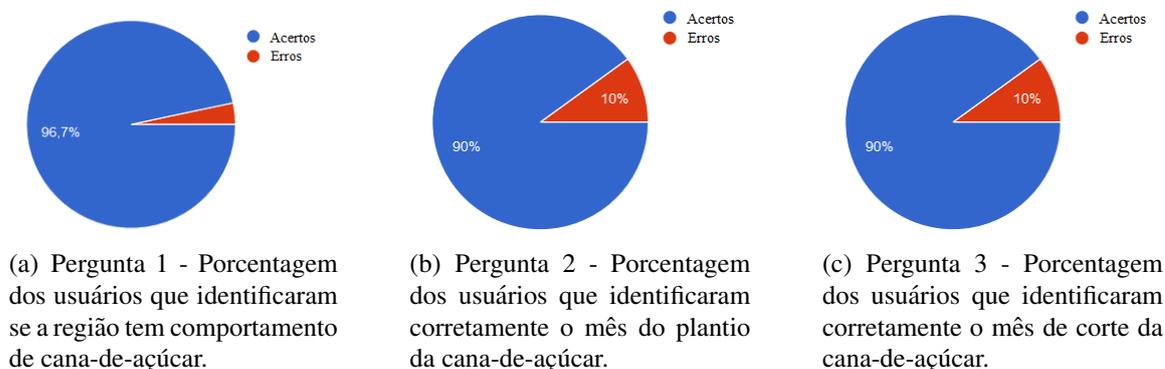


Figura 4.1: Formulário - Imagem 1: Porcentagem das respostas utilizando a ST-Vis.

Para a Imagem 2 (disponibilizada no formulário), foi realizada a seguinte pergunta:

Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal a região analisada provavelmente é de? Essa pergunta obteve um acerto de 93.3% nas respostas (Figura 4.2).

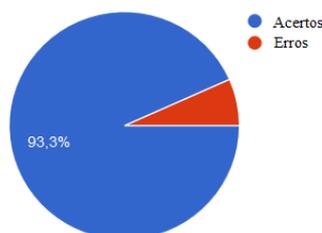


Figura 4.2: Formulário - Imagem 2: Porcentagem dos usuários que identificaram de forma correta o comportamento da região analisada utilizando a ST-Vis

Para a Imagem 3 (disponibilizada no formulário) colocamos duas visualizações de regiões diferentes e foi pedido que o mesmo responde-se as seguintes perguntas:

Pergunta 1: É possível identificar diferenças na variação do NDVI ao longo do tempo comparando regiões de cana e não cana? 93.3% dos usuários informaram que é possível, sendo um indicativo de que os gráficos produzidos pela ferramenta auxiliam a análise (Figura 4.3(a)).

Pergunta 2: Qual lado da imagem representa a região de não-cana? Essa pergunta obteve um acerto de 90% nas respostas.

E por último, Pergunta 3: A ferramenta ST-Vis facilitou a análise dos dados por tratar

em uma mesma tela a variação do NDVI ao longo do tempo em diferentes pontos geográficos (latitude/ longitude)? 93.1% dos usuários responderam que a ferramenta auxiliou sim na análise, sendo um resultado bastante promissor.

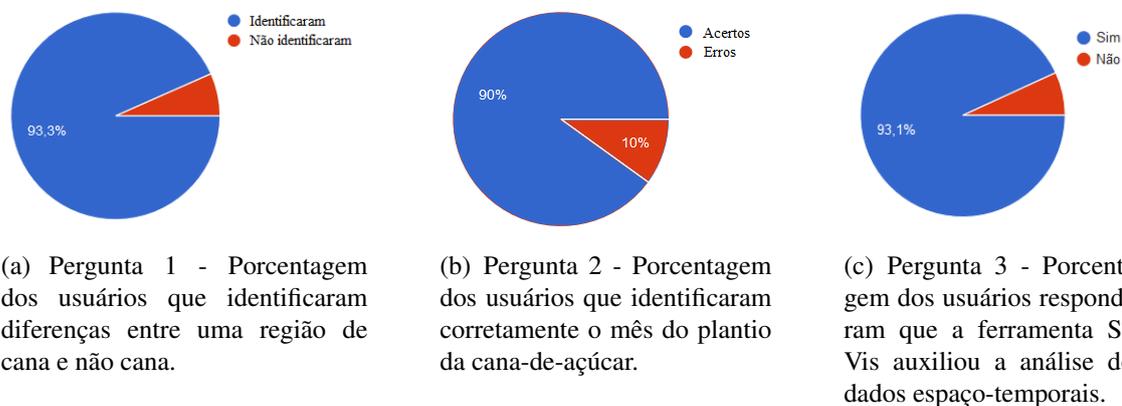


Figura 4.3: Formulário - Imagem 3: Porcentagem das respostas utilizando a ST-Vis.

4.2 Considerações finais

No presente capítulo foram apresentadas o método inicial de avaliação da ferramenta ST-Vis para verificar se a mesma pode auxiliar o usuário na interpretação de dados.

Os resultados da avaliação foram positivos e conclui-se que a ST-Vis pode auxiliar o usuário na interpretação exploratória dos dados no qual o usuário consegue interpretar e levantar hipóteses, além de confirmar regras e/ou hipóteses.

Ainda serão realizados mais experimentos, principalmente com usuários da área de agronomia para descobrir o que desejam e quais as melhorias que deve ser realizada na ferramenta.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

A visualização simultânea de dados espaço-temporais ainda é um desafio na área de visualização por causa da difícil tarefa de adicionar variação temporal a dados espaciais. Neste contexto, esta dissertação apresenta a ferramenta ST-Vis, que fornece uma representação visual para dados na forma de texto e tabelas, combinando diferentes maneiras de representá-los.

Os dados são representados de modo paralelo, sendo os dados espaciais representados por meio do mapa, os dados temporais pela textura temporal por meio de cores e a representação de todos os dados por meio da técnica de visualização multidimensional, o gráfico de coordenadas paralelas. Combinando as visualizações em um único *display*, além da interação entre as visualizações por meio de animações.

Com a avaliação da ferramenta com os especialistas da área e por meio do formulário, foi possível identificar que a ST-Vis auxilia o usuário na interpretação de dados complexos como os dados espaço-temporais. Por meio da visualização apresentada pela ferramenta o usuário consegue explorar os dados, interpretando as informações e levantando hipóteses. Além de poder confirmar regras e/ou hipóteses por meio das visualizações geradas, como identificação de regiões com comportamento típicos, tipo de culturas, áreas com água, áreas urbana, florestas, entre outros.

5.1 Trabalhos Futuros

Com trabalhos futuros, será inserida na ferramenta ST-Vis a opção para o usuário escolher qual o critério de cores deseja utilizar para visualizar o índice de vegetação.

Gerar uma visualização espaço-temporal para qualquer tipo de dado é algo complexo, por este fato, a ST-Vis deve realizar mais experimentos e eventualmente ser melhorada, adicionando

mais opções de visualizações.

Adicionar na ST-Vis o teste de Mann-Kendall para analisar as estatísticas das séries temporais, para verificar se uma série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatística significativa para verificar se a série varia ao longo do tempo.

Acrescentar na ST-Vis a comparação entre as médias entre os períodos que podem ser selecionados, para análises estatísticas.

Realizar mais experimentos, principalmente com usuários da área de agronomia para descobrir o que desejam e quais as possíveis melhorias que pode ser implementada na ST-Vis A adição de mais visualizações e análise para dados como temperatura, umidade, precipitação do solo, entre outros, para a ST-Vis continuar a oferecer uma visualização adequada ao usuário.

Colocar a ST-Vis em uso efetivo na empresa EMBRAPA para o uso de forma livre e gratuita.

A adição de outras formas de visualizações como a *Scatterplot Matrix*, para que o usuário utilize a visualização que tenha mais afinidade e posteriormente pretende-se incorporar a API do *Weka* para auxiliar os usuários a encontrar padrões.

5.2 Contribuições em Produções Bibliográfica

VIEIRA, AP dos SB et al. **ST-Vis: uma ferramenta para visualização espaço-temporal em regiões de plantio de cana-de-açúcar.** In: Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. Ciência de dados na era da agricultura digital: anais. Campinas, Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017.

VIEIRA, Ana Paula S. Braatz et al. **The ST-Vis Tool for SpatioTemporal Visualization.** In: Information Technology-New Generations. Springer, Cham, 2018. p. 577-587.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) no núcleo de São Raimundo Nonato-PI. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, n. 31, p. 157–168, 2012.
- ARAKI, L. Y.; ROSA, M. C. S. *Banco de Dados Temporal*. Dissertação (Mestrado), 2005.
- CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. *Readings in information visualization: using vision to think*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 1999.
- CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. d. *Banco de dados geográficos*. [S.l.]: MundoGEO Curitiba, 2005.
- CHANG, K. *Parallel Coordinates*. 2012. Disponível em: <https://github.com/syntagmatic/parallel-coordinates>.
- CHERNOFF, H. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, Taylor & Francis, v. 68, n. 342, p. 361–368, 1973.
- COMPIETA, P.; MARTINO, S. D.; BERTOLOTTI, M.; FERRUCCI, F.; KECHADI, T. Exploratory spatio-temporal data mining and visualization. *Journal of Visual Languages & Computing*, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 255–279, 2007.
- DICIO. *Percepção*. 2017. Acesso em: 10 set. 2017. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/percepcao/>.
- EDELWEISS, N.; OLIVEIRA, J. de. *Modelagem de aspectos temporais de sistemas de informação*. [S.l.]: UFPE, 1994.
- ELLSON, R.; COX, D. Visualization of injection molding. *Simulation*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 51, n. 5, p. 184–188, 1988.
- EMBRAPA. *SATVeg*. 2014. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>.
- FARIA, G. et al. Um banco de dados espaço-temporal para desenvolvimento de aplicações em sistemas de informação geográfica. [sn], 1998.
- FREITAS, C. M. D. S.; CHUBACHI, O. M.; LUZZARDI, P. R. G.; CAVA, R. A. Introdução à visualização de informações. *Revista de informática teórica e aplicada*. Porto Alegre. Vol. 8, n. 2 (out. 2001), p. 143-158, 2001.

- FRIENDLY, M.; DENIS, D. The early origins and development of the scatterplot. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, Wiley Online Library, v. 41, n. 2, p. 103–130, 2005.
- FRY, B. *Visualizing data: Exploring and explaining data with the processing environment*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2007.
- FURNAS, G. W. *The FISHEYE view: A new look at structured files*. [S.l.], 1981.
- GESTALT Principles. 2017. Acesso em: 19 set. 2017. Disponível em: <http://graphicdesign.spokanefalls.edu/tutorials/process/gestaltprinciples/gestaltprinc.htm>.
- GUO, D.; CHEN, J.; MACEACHREN, A. M.; LIAO, K. A visualization system for space-time and multivariate patterns (vis-stamp). *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, IEEE, v. 12, n. 6, p. 1461–1474, 2006.
- INSA. *NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada*. 2014. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/ndvi/#.V6fKRTWWmTA>.
- INSELBERG, A. The plane with parallel coordinates. *The visual computer*, Springer, v. 1, n. 2, p. 69–91, 1985.
- INSELBERG, A.; DIMSDALE, B. Parallel coordinates: a tool for visualizing multi-dimensional geometry.(1990). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/VISUAL>, 1990.
- JOHNSON, B.; SHNEIDERMAN, B. Tree-maps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. In: IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS. *Proceedings of the 2nd conference on Visualization'91*. [S.l.], 1991. p. 284–291.
- JR, J. R.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. 1974.
- KEIM, D. A.; KRIEGEL, H.-P. Visualization techniques for mining large databases: A comparison. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, IEEE, v. 8, n. 6, p. 923–938, 1996.
- KOFFKA, K. *Principles of Gestalt psychology*. [S.l.]: Routledge, 2013. v. 44.
- LAMPING, J.; RAO, R. The hyperbolic browser: A focus+ context technique for visualizing large hierarchies. *Journal of Visual Languages & Computing*, Elsevier, v. 7, n. 1, p. 33–55, 1996.
- LIVIUS.ORG. *Peutinger Map*. 2003. Acesso em: 11 set. 2016. Disponível em: <http://www.livius.org/articles/concept/peutinger-map/>.
- MACKINLAY, J. D.; ROBERTSON, G. G.; CARD, S. K. The perspective wall: Detail and context smoothly integrated. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. [S.l.], 1991. p. 173–176.
- MACROFOCUS, G. *INFOSCOPE*. 2015. Acesso em: 04 set. 2016. Disponível em: <https://www.macrofocus.com/public/products/infoscope/>.
- MICROSOFT. *Spatial Data Types Overview*. 2016. Acesso em: 11 oct. 2017. Disponível em: [https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb964711\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb964711(v=sql.120).aspx).

- OLIVEIRA, M. G. de; BAPTISTA, C. de S. Geostat-a system for visualization, analysis and clustering of distributed spatiotemporal data. In: *GeoInfo*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 108–119.
- PETA, K. J. *Sistem Informasi Geografis*. 2014. Disponível em: <https://datacitrasatelit.wordpress.com/2014/02/20/sistem-informasi-geografis/>.
- PEUQUET, D. J. It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems. *Annals of the Association of American Geographers*, Wiley Online Library, v. 84, n. 3, p. 441–461, 1994.
- PEUQUET, D. J. Making space for time: Issues in space-time data representation. *GeoInformatica*, Springer, v. 5, n. 1, p. 11–32, 2001.
- POSTGIS. *PostGIS 2.2.1 dev Manual*. 2005. Acesso em: 24 may. 2016. Disponível em: <http://postgis.net/stuff/postgis-2.3.0dev-br.pdf>.
- POSTGRESQL. *Geometric Types*. 2016. Acesso em: 23 may. 2016. Disponível em: <http://www.postgresql.org/docs/8.4/static/datatype-geometric.html>.
- RAO, R.; CARD, S. K. The table lens: merging graphical and symbolic representations in an interactive focus+ context visualization for tabular information. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. [S.l.], 1994. p. 318–322.
- ROBERTSON, G. G.; MACKINLAY, J. D.; CARD, S. K. Cone trees: animated 3d visualizations of hierarchical information. In: ACM. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. [S.l.], 1991. p. 189–194.
- ROTH, R. E.; ROSS, K. S.; FINCH, B. G.; LUO, W.; MACEACHREN, A. M. A user-centered approach for designing and developing spatiotemporal crime analysis tools. In: *Proceedings of GIScience*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 15.
- SERVER, S. *Dados espaciais (SQL Server)*. 2014. Acesso em: 24 ago. 2016. Disponível em: [https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb933790\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb933790(v=sql.120).aspx).
- SOMASUNDARAM, G.; SHRIVASTAVA, A. et al. *Armazenamento e gerenciamento de informações: como armazenar, gerenciar e proteger informações digitais*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009.
- SPENCE, R. *Information visualization*. [S.l.]: Springer, 2001. v. 1.
- WARD, M. O.; GRINSTEIN, G.; KEIM, D. *Interactive data visualization: foundations, techniques, and applications*. [S.l.]: CRC Press, 2010.
- WARD, M. O.; GRINSTEIN, G.; KEIM, D. *Interactive data visualization: foundations, techniques, and applications*. [S.l.]: CRC Press, 2015. v. 11. 517 p.

Apêndice A

FORMULÁRIO

A.1 Formulário de Pesquisa

Pesquisa sobre a ferramenta ST-Vis

Este formulário é um convite para você participar da Pesquisa sobre a ferramenta ST-Vis, tendo fins estritamente acadêmicos. A linha a ser seguida é como os dados espaço-temporais são representados por meio de visualização. Este estudo está sendo realizado pela aluna de mestrado Ana Paula dos Santos Braatz Vieira, na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), orientada pela Profa. Dra. Marcela Xavier Ribeiro.

Sua colaboração na pesquisa é voluntária e, para minimizar qualquer desconforto, será realizada de forma anônima.

A pesquisa de avaliação pode ser respondida online em qualquer horário e o participante pode parar de respondê-la a qualquer momento, sem prejuízos ou constrangimentos.

Caracterização do Participante

Sexo: Homem / Mulher

Idade: até 25 anos / 25 a 35 anos / 36 a 45 anos / mais de 45 anos

Formação Acadêmica: Graduação / Mestrado / Doutorado / Outros

Área de Conhecimento: (Texto livre)

Informações Importantes

Primeiramente vamos entender o que é a Ferramenta ST-Vis e o NDVI.

ST-Vis

A Ferramenta ST-Vis (Spatio-Temporal VISualization) visa auxiliar a compreensão de dados espaço-temporais, combinando a visualização dos dados por meio de um (A.1) mapa, (A.2) gráfico de coordenadas paralelas e uma (A.3) textura temporal.

A ST-Vis gera uma textura temporal que mapeia de forma linear a variação do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI) por meio de cores. Onde cada coluna (cor) é referente a um eixo da Coordenadas Paralelas, de uma única Latitude e Longitude.

Com essa ferramenta é possível avaliar o comportamento de uma área ao longo do tempo, facilitando a análise dos dados.



Figura A.1: Sistema de Informação Geográfica - mapa

No mapa, os pontos (marcadores verdes) são referentes a Latitude e Longitude.

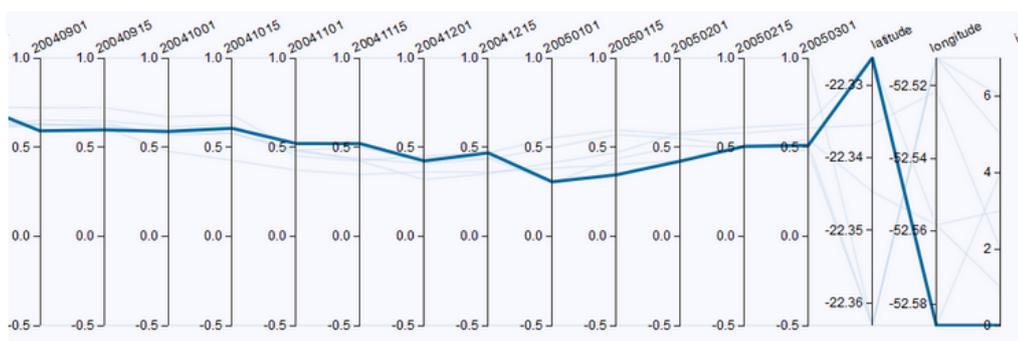


Figura A.2: Gráfico de Coordenadas Paralelas

O gráfico de Coordenadas Paralelas apresenta a variação espaço-temporal, onde os eixos (linhas verticais):

- Nomeados com DATA apresentam uma visualização TEMPORAL
- Nomeados com LATITUDE e LONGITUDE mostram uma representação ESPACIAL.

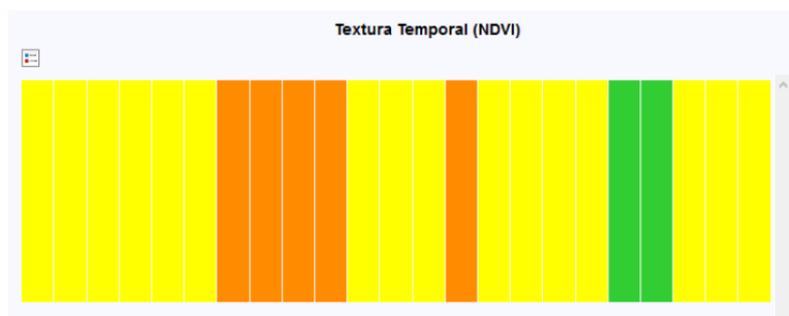


Figura A.3: Textura Temporal

Cada valor da linha horizontal que corta o eixo vertical, representada na Coordenada Paralela, é referente a uma coluna da Textura Temporal. A textura de cores é para apenas uma ÚNICA Latitude e Longitude por vez.

Informações Importantes: NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada)

O NDVI permite fazer análises em diversas escalas sobre a cobertura vegetal de uma determinada região, e são obtidos por meio da captação de imagens de sensores a bordo dos satélites AVHRR/NOAA e o MODIS/Terra.

O valor do NDVI varia de 1 a -1, de modo:

- mais próximo do 1: (VERMELHO) maior indício da PRESENÇA DE VEGETAÇÃO;
- valor 0: (AZUL) referente à uma VEGETAÇÃO SEM FOLHAS, submetida à condição de ÁGUA no solo.
- mais próximo do -1: (AZUL) maior indício da presença de SOLOS DESCOBERTOS, ROCHA OU ÁGUA;

Variação do NDVI

Valor	Descrição
1 a 0.8	- Alto
0.8 a 0.6	- Mediamente Alto
0.6 a 0.4	- Moderadamente Baixo
0.4 a 0.2	- Baixo
0.2 a 0	- Muito Baixo
Menor que 0	- Baixíssimo

Análise da variação do NDVI

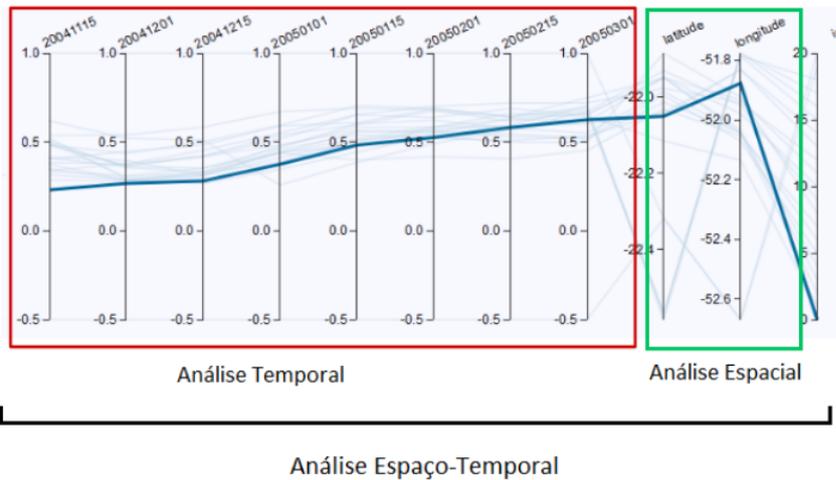
Para analisar o NDVI, temos que verificar a PARTE TEMPORAL no gráfico de Coordenadas Paralelas. Para isso, temos que verificar apenas os eixos (linhas verticais) que tenham nome referentes a DATA (Ano-Mês-Dia).

Eixo Temporal:

Data: 20041115 (Ano: 2004, Mês: 11, Dia: 15)

Eixo Espacial:

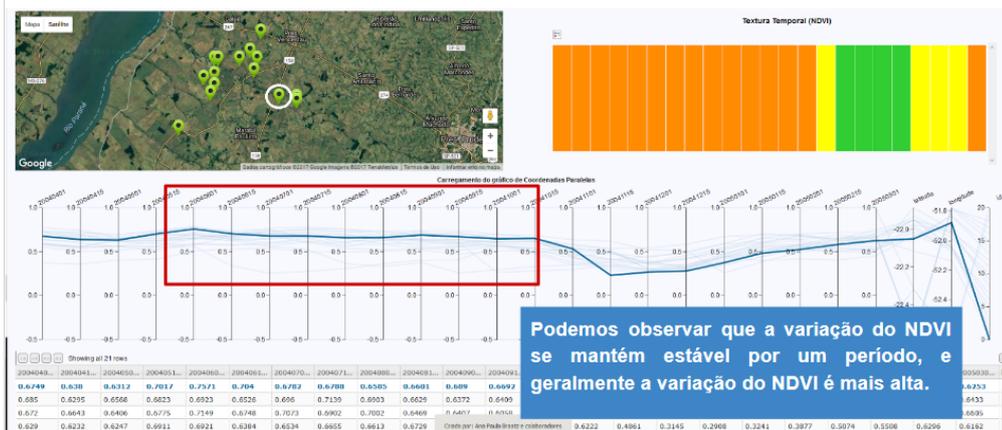
Latitude e Longitude



Análise das regiões por meio da variação do NDVI

- Região típica de Cana-de-açúcar / área com água (RIO)/ área Urbana (cidade)

Comportamento da Região de CANA-DE-AÇÚCAR



A.1.1 Responda as seguintes questões:

Observando o ponto destacado na imagem acima, responda:

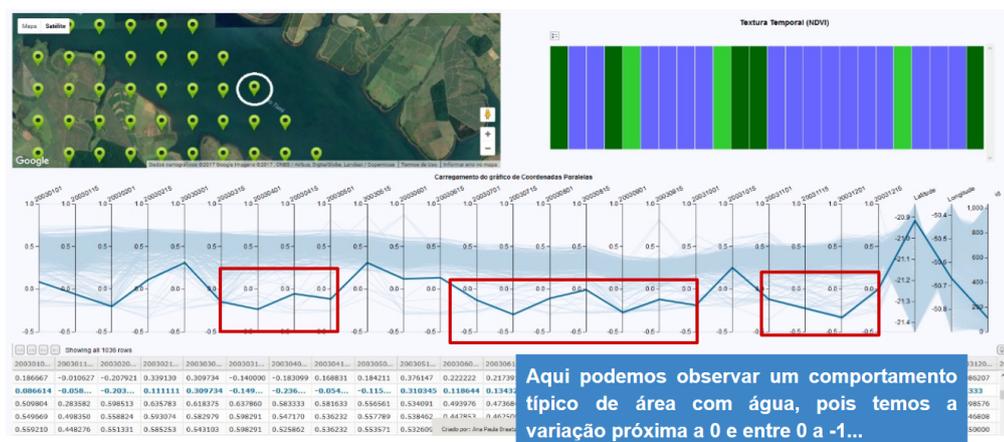
Comportamento da Região de CANA-DE-AÇÚCAR



Comportamento da Região de CANA-DE-AÇÚCAR



Comportamento de uma área com água (RIO)

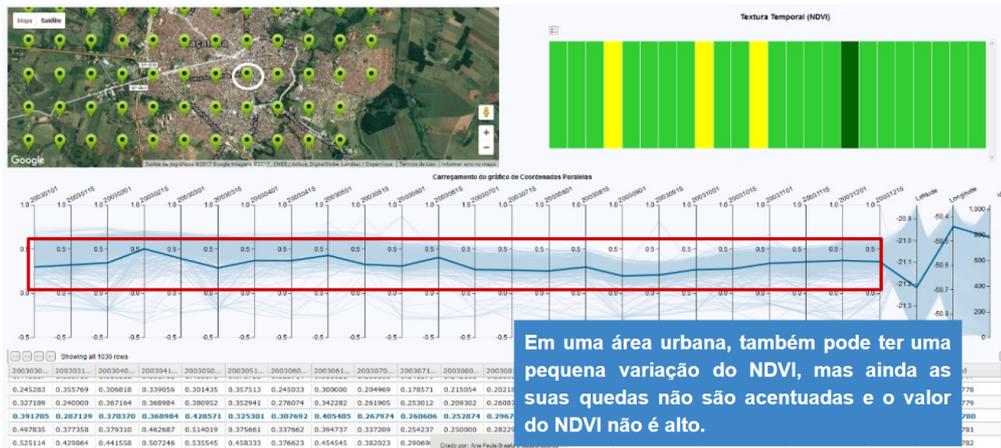


Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal, é possível identificar essa região com comportamento produtor de cana-de-açúcar?

Comportamento de uma área URBANA



Comportamento de uma área URBANA



Sim / Não

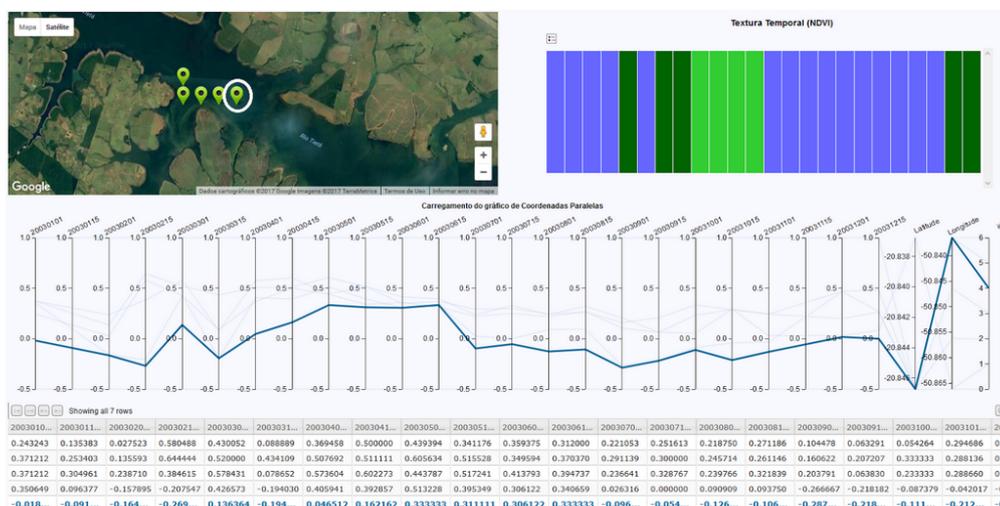
Pergunta 2: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o PLANTIO de cana-de-açúcar nessa região?

Janeiro / Julho / Maio

Pergunta 3: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o TÉRMINO DO CORTE de cana-de-açúcar nessa região?

Fevereiro / Maio / Dezembro

Observando o ponto destacado na imagem, responda:



Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal a região analisada provavelmente é de:

Área urbana / Rio / Cana-de-açúcar

Observe a imagem e responda as perguntas:

Pergunta 1: É possível identificar diferenças na variação do NDVI ao longo do tempo comparando regiões de cana e não cana?

Sim / Não

Pergunta 2: Qual lado da imagem representa a região de NÃO-CANA?

Esquerda / Direita

Pergunta 3: A ferramenta ST-Vis facilitou a análise dos dados por tratar em uma mesma tela a variação do NDVI ao longo do tempo em diferentes pontos geográficos (latitude/longitude)?



Sim / Não

Obrigada por preencher o Formulário

Sua contribuição é muito importante.

Essa ferramenta é um protótipo, caso queira saber mais sobre a ST-Vis e desejar baixá-la, entre em contato com: anapbraatz@gmail.com

Apêndice B

CÓDIGO

0.1 Leitura do arquivo, mapa, marcador e evento

```
1 function arquivomapa(contents) {
2   var lines = contents.split("\n");
3   var locations = [];
4   var medialat = 0;
5   var medialong = 0;
6   var linhavbranco = 0;
7
8   for (var i = 1; i < lines.length; i++) {
9
10    if (lines[i].trim() == "") {
11      linhavbranco++;
12
13    } else {
14      var item = lines[i].split(",");
15      var final = [];
16      final.push(i);
17      final.push(item[0]);
18      final.push(item[1]);
19      locations.push(final);
20      medialat = medialat + parseFloat(item[0]);
21      medialong = medialong + parseFloat(item[1]);
22    }
23  };
24  medialat = medialat / (lines.length - 1 - linhavbranco);
25  medialong = medialong / (lines.length - 1 - linhavbranco);
26
27  var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'), {
28    zoom: 10,
29    center: new google.maps.LatLng(medialat, medialong),
30    mapTypeId: google.maps.MapTypeId.HYBRID
31  });
32
33  var infowindow = new google.maps.InfoWindow();
34  var marker, i;
35  var marcadores = [];
36
37  for (i = 0; i < locations.length; i++) {
38    marker = new google.maps.Marker({
39      position: new google.maps.LatLng(locations[i][1], locations[i]
40        ] [2]),
41      map: map,
42      title: " ID: " + i + "\n Latitude: " + locations[i][1] + "\n
43        Longitude: " + locations[i][2] ,
44      icon: 'marcador.png'
45    });
46
47    google.maps.event.addListener(marker, 'click', (function(marker, i)
48      {
49        return function() {
50          infowindow.setContent(marker.title)
51          infowindow.open(map, marker);
52        }
53      })(marker, i));
54  }
55 }
```

```

49     generateGradientTable(contents, i);
50     parcoords.highlight([global_data[i]]);
51     stopAllAnimation(marcadores)
52     marker.setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE)
53   }
54   })(marker, i));
55   marcadores.push(marker);
56   }
57   return marcadores;
58 }

```

0.2 Gráfico Coordenadas Paralela

```

1  function parallelCoordinates(data, markerbounce) {
2
3    data.forEach(function(d, i) {
4      d.id = d.id || i;
5    });
6
7    parcoords
8      .data(data)
9      .render()
10     .reorderable()
11     .brushMode("1D-axes");
12
13    var column_keys = d3.keys(data[0]);
14    var columns = column_keys.map(function(key, i) {
15      return {
16        id: key,
17        name: key,
18        field: key,
19        sortable: true
20      }
21    });
22
23    var options = {
24      enableCellNavigation: true,
25      enableColumnReorder: false,
26      multiColumnSort: false
27    };
28
29    var dataView = new Slick.Data.DataView();
30    var grid = new Slick.Grid("#grid", dataView, columns, options);
31    var pager = new Slick.Controls.Pager(dataView, grid, $("#pager"));
32
33    dataView.onRowCountChanged.subscribe(function(e, args) {
34      grid.updateRowCount();
35      grid.render();
36    });
37
38    dataView.onRowsChanged.subscribe(function(e, args) {
39      grid.invalidateRows(args.rows);
40      grid.render();

```

```
41     });
42
43     var sortcol = column_keys[0];
44     var sortdir = 1;
45
46     function comparer(a, b) {
47         var x = a[sortcol],
48             y = b[sortcol];
49         return (x == y ? 0 : (x > y ? 1 : -1));
50     }
51
52
53     grid.onSort.subscribe(function(e, args) {
54
55         sortdir = args.sortAsc ? 1 : -1;
56         sortcol = args.sortCol.field;
57
58         if ($.browser.msie && $.browser.version <= 8) {
59             dataView.fastSort(sortcol, args.sortAsc);
60         } else {
61             dataView.sort(comparer, args.sortAsc);
62         }
63     });
64
65     grid.onMouseEnter.subscribe(function(e, args) {
66         var i = grid.getCellFromEvent(e).row;
67         var d = parcoords.brushed() || data;
68
69         parcoords.highlight([d[i]]);
70
71         markerbounce[i].setAnimation(google.maps.Animation.BOUNCE);
72         generateGradientTable(contents, i);
73     });
74
75     grid.onMouseLeave.subscribe(function(e, args) {
76         var i = grid.getCellFromEvent(e).row;
77         parcoords.unhighlight();
78         markerbounce[i].setAnimation(null);
79     });
80
81     gridUpdate(data);
82     parcoords.on("brush", function(d) {
83         gridUpdate(d);
84     });
85
86     function gridUpdate(data) {
87         dataView.beginUpdate();
88         dataView.setItems(data);
89         dataView.endUpdate();
90     };
91 }
```

0.3 Textura Temporal

```
1 function generateGradientTable(contents, numId) {
2
3   var lines = contents.split("\n");
4   var linhaescolhida = lines[numId+1];
5   var arraytemp = linhaescolhida.split(",");
6   arraytemp.shift();
7   arraytemp.shift();
8   firstline = lines[0].split(',');
9   firstline.shift()
10  firstline.shift()
11
12  var granularidade = document.querySelector('input[name="
13    granularidade"]:checked').value;
14  var gradientTableDiv = document.getElementById("tabelacolorida");
15  gradientTableDiv.innerHTML = '';
16
17  var cor;
18
19  if(granularidade == "quinzenal"){
20    var numerogranularidade = 24;
21  } else if(granularidade == "mensal"){
22    var numerogranularidade = 12;
23  }
24
25  var tbl = document.createElement('table');
26  tbl.style.width = '100%';
27  var tbody = document.createElement('tbody');
28  var tr = document.createElement('tr');
29
30  for (var i = 0; i < arraytemp.length; i++){
31    cor = arraytemp[i];
32
33    if (i % numerogranularidade == 0) {
34      tbody.appendChild(tr);
35      tr = document.createElement('tr');
36    }
37
38    var td = document.createElement('td');
39    var divDoTd = document.createElement('div');
40
41    if (cor <= 1 && cor >= 0.8 ){
42      divDoTd.setAttribute("class", "redColor");
43    }
44
45    else if (cor < 0.8 && cor >= 0.6 ){
46      divDoTd.setAttribute("class", "orangeColor");
47    }
48
49    else if (cor < 0.6 && cor >= 0.4 ){
50      divDoTd.setAttribute("class", "yellowColor");
51    }
52  }
```

```
51
52     else if (cor < 0.4 && cor >= 0.2 ){
53         divDoTd.setAttribute("class","greenColor");
54     }
55
56     else if (cor < 0.2 && cor >= 0 ){
57         divDoTd.setAttribute("class","darkGreenColor");
58     }
59
60     else if (cor < 0 ){
61         divDoTd.setAttribute("class","blueColor");
62     }
63
64     else{
65         divDoTd.setAttribute("class","semcor");
66     }
67
68     divDoTd.id = firstline[i] ;
69     divDoTd.addEventListener("mouseover", function(e){
70         dateString = String(e.target.id);
71         document.getElementById('showdata').innerHTML = dateString.slice
72             (0,4) + "/" + dateString.slice(4,6) + "/" + dateString.slice
73             (6,8)
74     })
75
76     td.appendChild(divDoTd);
77     tr.appendChild(td);
78     tbody.appendChild(tr);
79
80     tbl.appendChild(tbody);
81     gradientTableDiv.appendChild(tbl);
82 }
```

Apêndice C

PRODUÇÕES BIBLIOGRÁFICAS



ST-Vis: Uma ferramenta para visualização espaço-temporal em regiões de plantio de cana-de-açúcar

Ana Paula dos Santos Braatz Vieira¹, Rafael Stoffalette João¹, Luciana Alvim Santos Romani², Marcela Xavier Ribeiro¹

¹Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, Brasil, {ana.vieira, rafael.joao, marcela}@dc.ufscar.br

²Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, Brasil, luciana.romani@embrapa.br

RESUMO

Interpretar e compreender dados espaço-temporais e suas variações ao longo do tempo é, de fato, uma tarefa complexa, pois na grande maioria das vezes os dados são dispostos em forma de tabela e texto. A ferramenta ST-Vis (*Spatio-Temporal Visualization*), apresentada neste trabalho, visa auxiliar o especialista do domínio de plantio de cana-de-açúcar a compreender os dados espaço-temporais. A ST-Vis fornece uma representação visual de dados textuais e tabulares, combinando o gráfico de Coordenadas Paralelas e o Sistema de Informação Geográfica (SIG), obtendo-se uma forma de visualizar dados espaço-temporais com interação por meio de um mapa. Além disso, a ST-Vis aplica a Textura Temporal mapeando de forma linear a variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de áreas produtoras de cana-de-açúcar. Foi realizada uma avaliação preliminar com especialistas de domínio, verificando-se que a visualização proposta na ferramenta permite uma melhor compreensão dos dados e possibilitando a identificação de padrões.

PALAVRAS-CHAVE: Dados Espaço-Temporais, Coordenadas Paralelas, NDVI.

ABSTRACT

Interpreting and comprehending spatio-temporal data and their variations over time is indeed a complex task, since the vast majority of cases the data are available in table and text form. The tool ST-Vis (Spatio-Temporal Visualization), presented in this work, aims to help the expert on sugarcane planting do comprehend the spatio-temporal data. ST-Vis provides a texture representation of tabular data, combining the Parallel Coordinates graph and the Geographic Information System (GIS), obtaining a way to visualize spatio-temporal data with interaction through a map. In addition, ST-Vis applies the Temporal Texture by linearly mapping the variation of the Normalized Difference Vegetation Index (IVDN or NDVI) of sugarcane producing areas. In this way, all this visualization helps the data comprehension by the expert, where he/she can identify patterns and rules in the information.

KEYWORDS: Spatio-Temporal data, Parallel Coordinates, NDVI.

INTRODUÇÃO

A análise de dados complexos como os dados espaço-temporais tem sido importante aos especialistas, e está sendo um desafio na área de geoinformação. Essa área utiliza representações estáticas de fenômenos espaciais dinâmicos que não conseguem capturar todas as informações e idealizá-las de uma forma adequada, havendo perdas de informações temporais na representação visual (CASANOVA et al., 2005). Assim, existe a necessidade de desenvolver modelos espaço-temporais para conseguir representar de forma adequada os fenômenos que variam tanto no espaço como no tempo, uma vez que, com essas análises pode-se detectar padrões e regras nos dados.

Existem poucas ferramentas que tratam os dados espaciais que variam ao longo do tempo, como a ferramenta VIS-STAMP (*Visualization System for Space-Time and Multivariate Patterns*) (GUO et al., 2006) que utiliza pequenos mapas cartográficos auto organizados e coloridos em uma tabela para uma visualização dos dados espaciais e temporais. Já a ferramenta GeoVISTA *CrimeViz* (ROTH et al, 2010) possui um mapa do Google no qual marca os focos de regiões com os tipos de criminalidade na representação espacial e possui uma visualização temporal por meio de histograma de frequência. A ferramenta GeoSTAT (*GEOgraphic SpatioTemporal Analysis Tool*) (DE OLIVEIRA, M. G.; DE SOUZA B. C. 2012) possui um mapa interativo do Google para a representação espacial e um gráfico bidimensional para a representação temporal, e atua com dados sobre focos de

incêndio. A ferramenta InfoScope (INFOSCOPE, 2015) tem um mapa cartográfico interativo para a visualização espacial, gráfico de Coordenadas Paralelas e algumas técnicas para visualização de informação, porém apenas aceita arquivos com extensão .mis (*Macrofocus InfoScope*) próprios da ferramenta.

Contudo, a ST-Vis visa representar os dados espaciais que variam ao longo do tempo por meio de uma visualização simultânea e de fácil compreensão. A ferramenta fornece visualizações interativas por meio da representação espacial por meio de mapa, da representação temporal por meio da Textura Temporal e por fim, da representação espaço-temporal por meio do gráfico de Coordenadas Paralelas.

Entre as ferramentas que tratam dados espaço-temporais, pouquíssimas focam na análise de informações sobre o cultivo da cana-de-açúcar ou no NDVI, foco da ferramenta ST-Vis apresentada neste artigo. Um exemplo de ferramenta que trata o NDVI é a SATVeg (Embrapa) (SATVEG, 2014), que é um sistema web para a visualização de séries temporais com o auxílio de um mapa.

A cana-de-açúcar tem uma grande importância na economia brasileira, pois o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Além da produção de açúcar, se destaca principalmente a produção do etanol, uma importante fonte de substituição de combustíveis fósseis (AGRIC, 2016; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016; NOVACANA, 2016).

Neste trabalho, para analisar as informações do cultivo da cana-de-açúcar são utilizados dados relacionados ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*). Esse índice é um indicativo do estado da planta, que pode ser aplicado ao monitoramento e mapeamento de culturas, detecção de secas, localização de áreas com pragas, estimativa de produtividade e modelagem hidrológica (DUFT, D., 2014).

O NDVI permite fazer análises em diversas escalas sobre a cobertura vegetal de uma determinada região e é obtido por meio da captação de imagens de sensores a bordo de satélites como o AVHRR/NOAA e o MODIS/Terra.

O valor do NDVI varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício da presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício da presença de solos descobertos, rochas ou água. Teoricamente o valor 0 é referente à uma vegetação sem folhas, submetido a condição de estresse hídrico por déficit de água no solo (INSA, 2014).

O objetivo da ferramenta ST-Vis é visualizar dados espaço-temporais de forma que a informação espacial seja exibida simultaneamente com a temporal, permitindo que a análise

espaço-temporal por parte do usuário seja realizada em uma única visualização interativa e de forma compreensível ao especialista. Para gerar as representações visuais na ST-Vis, foram utilizadas técnicas de visualização espacial e visualização de informação.

Este artigo está descrito da seguinte forma: primeiramente, em materiais e métodos são apresentadas as etapas para o desenvolvimento da ferramenta, detalhando cada visualização utilizada. Na sequência, em resultados e discussões é apresentada uma avaliação da ferramenta, e por fim são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Para facilitar a visualização e análise dos dados espaço-temporais, foi desenvolvida a ferramenta ST-Vis para a visualização espaço-temporal simultânea e interativa. Proporcionando a representação dos dados através de mapas e gráficos que sejam compreensíveis aos especialistas.

Para gerar a visualização espacial é comum a utilização de um mapa onde os dados espaciais podem ser plotados. Na ST-Vis as informações no mapa interagem com o gráfico de Coordenadas Paralelas, descrito mais adiante, que proporciona uma visualização espaço-temporal de múltiplas dimensões em um plano bidimensional, e o mesmo interage com a Textura Temporal. A Textura Temporal mapeia de forma linear valores numéricos para variações de cores (usadas pelo especialista) ao longo do tempo, gerando uma forma de visualização temporal.

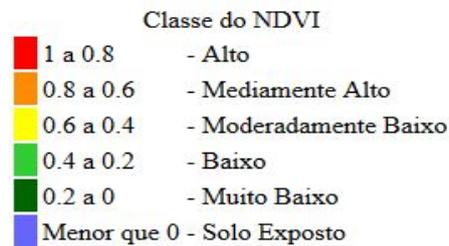
Textura Temporal

A Textura Temporal é uma abordagem para a representação temporal dos dados que variam ao longo do tempo na ferramenta ST-Vis. Essa textura mapeia os dados temporais de uma única latitude e longitude de forma linear, associando os valores numéricos a cores proporcionais à variação da classe do NDVI segundo as cores utilizadas pelos especialistas da área, como apresenta a Figura 1.

Devido a associação dos valores de NDVI com cores, a ST-Vis representa os dados temporais de forma linear, onde cada linha representa o período de um ano e o especialista pode escolher a granularidade dos seus dados, sendo quinzenal ou mensal. Deste modo, ao escolher a granularidade quinzenal, a ST-Vis exibe a Textura Temporal com n linhas

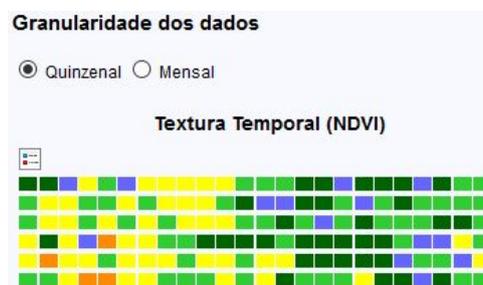
contendo 24 colunas, assim cada linha representa o período de um ano, como mostra a Figura 2.

Figura 1 - Variação da classe de NDVI da cana-de-açúcar.



Fonte: Adaptado de (AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. 2012).

Figura 2 - Textura Temporal com granularidade quinzenal.



O Mapa

A ST-Vis utiliza um mapa para gerar uma visualização espacial, onde marcadores são plotados, ou seja, os pontos verdes no mapa, como pode ser visto na Figura 3. Esses pontos são dados espaciais referentes às variáveis de latitude e longitude dos dados. É possível analisar focos de interesse de uma região, como mostra a Figura 3. O mapa é gerado por meio de uma API do Google Maps.

Figura 3 – Visualização espacial com marcadores plotados.

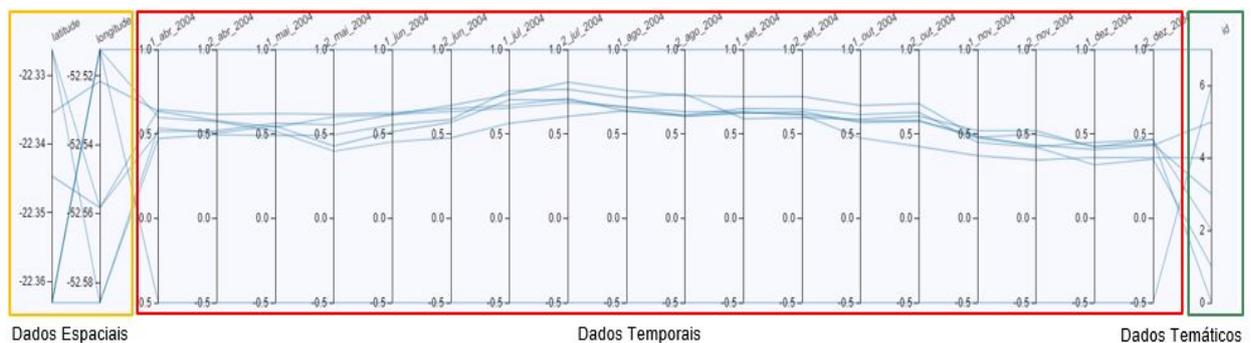


O Gráfico de Coordenadas Paralelas

A técnica de Coordenadas Paralelas, introduzida por Inselberg (1985) consegue representar dados multidimensionais, utilizando linhas verticais (eixos) e horizontais, exibindo suas dimensões de forma paralela umas com as outras em um plano. E permite relacionar as informações dos dados por meio de linhas horizontais (linha azul) que percorrem todos os eixos na representação visual, como mostra a Figura 4.

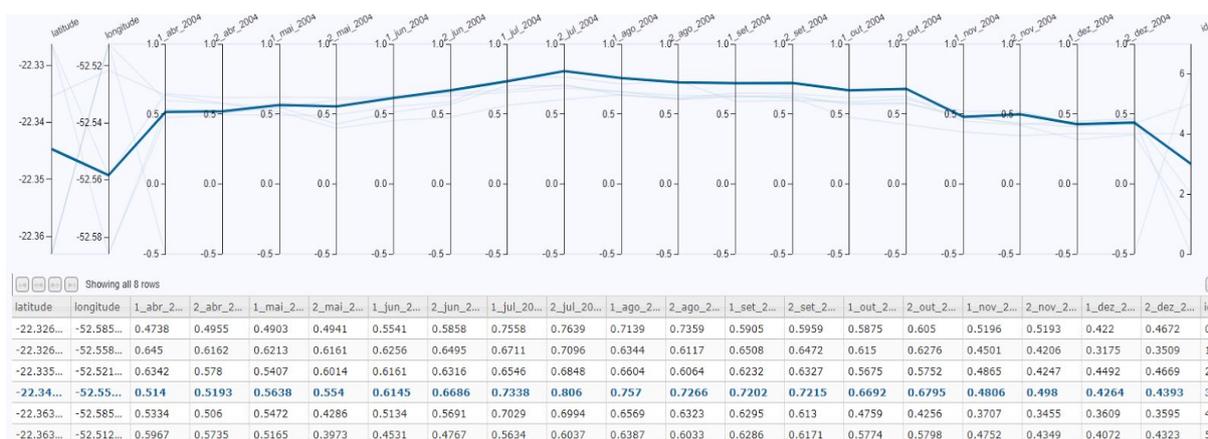
A ST-Vis gera uma visualização espaço-temporal simultânea, associando cada eixo a uma dimensão temporal, incluindo dois eixos verticais para a informação espacial (latitude e longitude), além de adicionar outros eixos para dados temáticos (dados não espaciais e não temporais, exemplo: id, nome, cidade) como mostra a Figura 4. O gráfico de Coordenadas Paralelas tende facilitar a exploração e a compreensão dos dados, e a representar os dados espaciais e temporais de forma simultânea.

Figura 4 – Visualização espaço-temporal gerada a partir do gráfico de Coordenadas Paralelas.



Para melhorar na interatividade da ferramenta ST-Vis, o gráfico está associado a uma tabela que exhibe os dados carregados pelo especialista, juntamente com o mapa e a Textura Temporal. Deste modo, ao percorrer a tabela, destaca-se uma linha horizontal no gráfico de Coordenadas Paralelas (Figura 5), o marcador no mapa e a Textura Temporal.

Figura 5 - Destaque da linha horizontal nos eixos paralelos do gráfico.



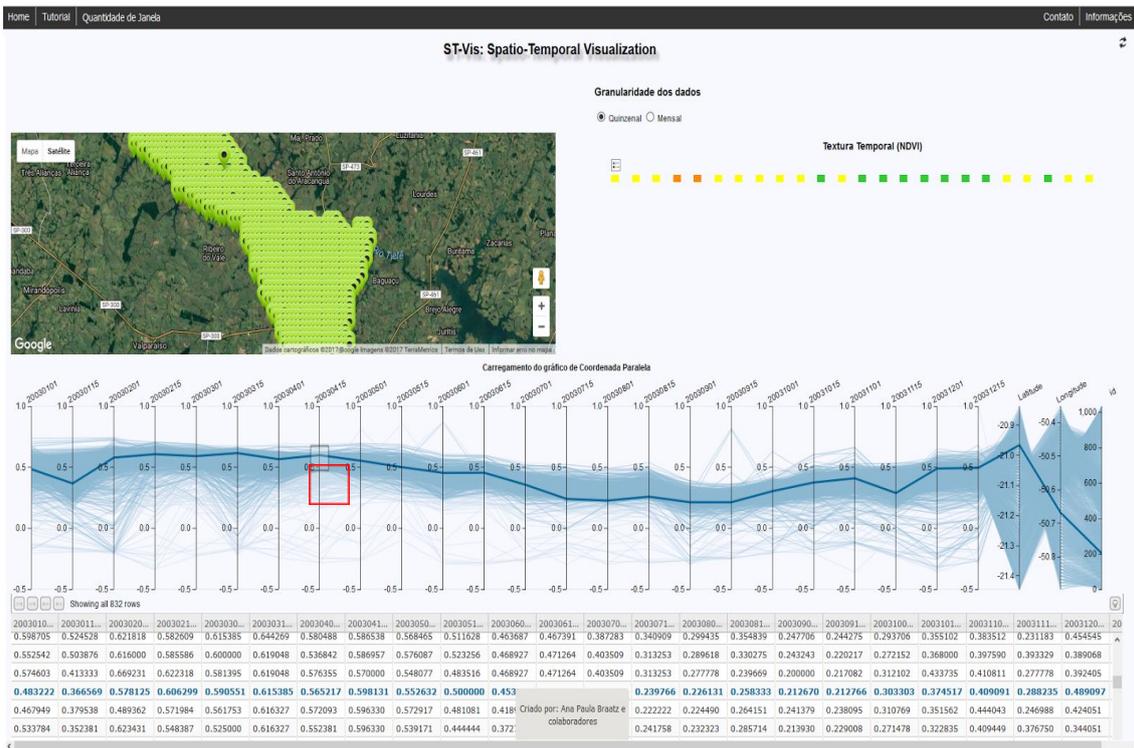
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ST-Vis diferentemente das ferramentas citadas na introdução, gera uma visualização simultânea e interativa dos dados espaço-temporais. A ferramenta também analisa regiões de plantio com o foco em representar por meio da forma de Textura Temporal, as variações do NDVI. A ST-Vis carrega arquivos em formato CSV (*Comma-Separated Values*), exibindo-os simultaneamente no mapa, no gráfico de Coordenadas Paralelas, na forma de tabela e na Textura Temporal. Os dados da tabela interagem com as demais visualizações na ferramenta.

A ST-Vis é focada na análise temporal da variação do NDVI, e ao passar o mouse em uma instância da tabela, alguns eventos são habilitados para facilitar a análise do especialista, como o destaque na linha da tabela com a cor azul (Figura 6d); o destaque da linha horizontal entre os eixos paralelos do gráfico referente a linha selecionada (Figura 6c); o marcador no mapa referente a latitude e longitude da linha destacada salta no mapa (Figura 6a); e por fim, é exibida a Textura Temporal (Figura 6b). A ferramenta também permite a realização de duas consultas simultâneas em diferentes regiões. Podendo o especialista comparar as regiões entre si (Figura 7), relacionando a variação do NDVI de acordo com o foco de interesse.

Os valores dos dados a serem carregados podem ser normalizados (Figura 8) ou não (Figura 6), dependendo de como o especialista de domínio requer a visualização. Existe uma função nos eixos do gráfico de Coordenadas Paralelas que o especialista pode selecionar alguns focos de interesse, como mostra o quadrado vermelho na Figura 8. Essa seleção permite a filtragem de instâncias na visualização facilitando assim a análise dos dados. De acordo com os especialistas, a ferramenta apresenta uma visualização diferenciada da informação. Há ganhos na execução da tarefa pois permite a visão das séries tanto no mapa

Figura 8 - Visualização com dados normalizados.



CONCLUSÕES

A visualização de dados espaço-temporais de maneira simultânea ainda é um desafio na área de visualização devido à difícil tarefa de adicionar a variação temporal a dados georeferenciados. Neste sentido, este artigo apresentou a ferramenta ST-Vis que fornece uma representação visual de dados textuais e tabulares, combinando o mapa com um gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal. Os resultados desta visualização auxiliam os especialistas de domínio na compreensão das informações espaço-temporais, permitindo uma visualização espaço-temporal interativa. Assim, o especialista consegue identificar algumas regras e padrões de interesse em áreas de plantio da cana-de-açúcar compreendendo as informações de forma mais intuitiva. De modo que possa visualizar a variação de uma região ao longo do tempo a partir dos valores do NDVI, sendo possível analisar os resultados deste índice para todas as aplicações que utilizam essa informação, aprimorando o monitoramento das culturas agrícolas, o que leva há uma redução das perdas no campo.

REFERÊNCIAS

AGRIC. Produção de Cana-de-açúcar. [2016?]. Disponível em:<
http://www.agric.com.br/producoes/cultivo_da_cana.html>. Acesso: 10 Maio, 2017.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no núcleo de São Raimundo Nonato-PI. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, n. 31, p. 157-168, 2012. ISSN 2179-0892. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74261/77904>>. Acesso em: 28 Mar. 2017.

CASANOVA, A. M. et al. **Banco de dados geográficos**. Curitiba: Mundogeo. 2005.

DE OLIVEIRA, M. G.; DE SOUZA B. C. GeoSTAT - A system for visualization, analysis and clustering of distributed spatiotemporal data. **GEOINFO**. 2012. p. 108-119.

DUFT, D. O que significa NDVI e qual a sua relação com agricultura. *InteliAgro*. 2014. Disponível em: <<http://inteliagro.com.br/o-que-significa-ndvi-e-o-qual-sua-relacao-com-agricultura/>>. Acesso em: 11 Maio, 2017.

GUO, D. et al. A Visualization System for Space-Time and Multivariate Patterns (VIS-STAMP). **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 12, n. 6, p. 1461-1474, 2006.

INFOSCOPE, Versão 3.6.1. Macrofocus GMBH, 2015. Disponível em: <<https://www.macrofocus.com/public/products/infoscope/>>. Acesso em: 20 Abr. 2017.

INSELBERG, A. The plane with parallel coordinates. **The Visual Computer**, v. 1, n. 2, p. 69-91, 1985.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO - INSA. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada**. 2014. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/ndvi/#.V6fKRTWWmTA>>. Acesso em: 5 Maio, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Cana-de-açúcar. [2016?]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso: 10 Maio, 2016.

NOVACANA. A produção de cana-de-açúcar no brasil (e no mundo). [2016?]. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana-de-acucar/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acesso: 10 Maio, 2016.

ROTH, R. E. et al. A user-centered approach for designing and developing spatiotemporal crime analysis tools. **Proceedings of GIScience**. 2010. Disponível em: <https://www.geovista.psu.edu/publications/2010/RothEtAl_2010_AUserCenteredApproach.pdf>. Acesso em: 2 Maio 2017.

SATVEG. Embrapa. [2014?]. Disponível em: <<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>>. Acesso em: 15 Abr. 2017.

ST-Vis: Spatio Temporal Visualization

Ana Paula S. Braatz Vieira
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos, SP, Brasil
ana.vieira@ufscar.br

Marcela Xavier Ribeiro
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos, Brasil
marcela@dc.ufscar.br

Luciana Alvim Santos Romani
Embrapa Informática Agropecuária
Campinas, SP, Brasil
luciana.romani@embrapa.br

ABSTRACT

Analyzing and understanding spatial data that varies over time is indeed a complex task since data are usually arranged in the form of tables and texts. That way, the ST-Vis (Spatio-Temporal Visualization) prototype provides a visual representation of spatio-temporal data. This representation helps the user understand the temporal variation of a certain region by combining the graph of Parallel Coordinates with the Geographic Information System (GIS) which is the map. In addition, the ST-Vis prototype has the Temporal Texture, which linearly maps the variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), thus forming a color texture. The joining of the prototype visualizations provides a simultaneous space-time representation of the data. A preliminary assessment was conducted with some domain experts, computer students, and students from other areas to verify whether this first version of the prototype allows a better understanding of the data through the generated visualizations.

KEYWORDS

Space-Temporal Data, Parallel Coordinates, Space-Time Representation, Temporal Texture

ACM Reference format:

Ana Paula S. Braatz Vieira, Marcela Xavier Ribeiro, and Luciana Alvim Santos Romani. 2017. ST-Vis: Spatio Temporal Visualization. In *Proceedings of XVI Workshop de Ferramentas e Aplicações, Gramado, RS, Outubro, 2017 (WFA)*, 5 pages.
<https://doi.org/10.1145/nnnnnnn.nnnnnnn>

1 INTRODUÇÃO

A análise de dados complexos como os dados espaço-temporais é, de fato, uma tarefa árdua e complexa, pois interpretar e compreender informações obtidas em tabelas textuais é uma tarefa cansativa que demanda um certo tempo e muita atenção. Assim, existe a necessidade de desenvolver modelos espaço-temporais para representar dados que variam tanto no tempo como no espaço. Deste modo, o usuário consegue compreender mais rapidamente os dados e por meio dessas análises, pode até detectar padrões nas informações.

Logo, fora desenvolvida a primeira versão do protótipo ST-Vis que auxiliará o usuário na análise dos dados espaciais que variam ao longo do tempo, ou seja, representar esses dados por meio de uma

visualização espaço-temporal. E esse protótipo será disponibilizado de forma gratuita aos usuários ¹.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Atualmente existem poucas ferramentas que tratam os dados espaço-temporais e geram uma visualização, cada uma das ferramentas que tratam esses dados possuem focos e áreas diferentes, como dados econômicos, dados de áreas com focos de criminalidade, focos de incêndio, entre outros.

Nesse contexto, temos a ferramenta VIS-STAMP (*Visualization System for Space-Time and Multivariate Patterns*) [6] uma ferramenta espaço-temporal que utiliza pequenos mapas cartográficos auto organizados e coloridos em uma tabela para representar a visualização dos dados espaciais e temporais. Essa ferramenta utiliza o gráfico multidimensional de Coordenadas Paralelas a fim de auxiliar o usuário na análise da visualização temporal dos dados.

A ferramenta GeoSTAT (*GEOgraphic SpatioTemporal Analysis Tool*) [3] possui um mapa interativo do Google para a representação espacial e um gráfico bidimensional para a representação temporal, e atua com dados sobre focos de incêndio.

A ferramenta GeoVISTA *CrimeViz* [8] possui um mapa do Google, no qual destaca focos de regiões com tipos de criminalidade na sua representação espacial e possui uma visualização temporal por meio de histograma de frequência.

A ferramenta InfoScope [5] conta com um mapa cartográfico interativo para a visualização espacial, gráfico de Coordenadas Paralelas e algumas técnicas para visualização de informação, porém apenas aceita arquivos com extensão .mis (*Macrofocus InfoScope*) próprios da ferramenta, além de ser comercializada.

Contudo, o protótipo ST-Vis visa representar os dados espaciais que variam ao longo do tempo por meio de uma visualização simultânea e de fácil compreensão. O protótipo fornece visualizações interativas, sendo a representação espacial apresentada por meio de mapa do Google, a representação temporal por meio da Textura Temporal (com auxílio de cores) e por fim, a representação espaço-temporal por meio do gráfico de Coordenadas Paralelas.

Entre as ferramentas que tratam os dados espaço-temporais, pouquíssimas focam na análise do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), por enquanto, um dos focos do protótipo ST-Vis. Assim, comparando o protótipo com uma ferramenta que analisa esse índice de vegetação destaca-se a ferramenta SATVeg [4], desenvolvida pela empresa Embrapa, a SATVeg é um sistema web gratuito para a visualização de séries temporais com o auxílio de um mapa do Google.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

WFA, Outubro, 2017, Gramado, RS

© 2017 Copyright held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-x-xxxx-xxxx-x/YY/MM.

<https://doi.org/10.1145/nnnnnnn.nnnnnnn>

¹https://www.dropbox.com/sh/vvzj0m5hgktsckb/AACW266TMZVTwqCg_4LB2yjwa?dl=0

3 OBJETIVO

O objetivo principal do protótipo ST-Vis, é representar os dados espaços-temporais por meio de uma visualização simultânea, em que a informação espacial seja exibida em paralelo com a informação temporal, obtendo assim uma visualização espaço-temporal com apenas uma única representação interativa e de forma mais compreensível ao usuário.

Para alcançar esse amplo objetivo, o protótipo foi restringido primeiramente a conseguir representar uma visualização espaço-temporal sobre uma base de dados espaço-temporal. Essa base de dados contém os atributos de latitude, longitude, data e NDVI.

4 ARQUITETURA

Para gerar a visualização espaço-temporal foram utilizadas técnicas de visualização espacial e visualização de informação. Deste modo, o protótipo é uma ferramenta web composta por uma arquitetura (Figura 1) com três tipos de visualizações: (i) espacial, representada por meio de uma mapa, (ii) temporal, representada por meio da Textura Temporal formada por cores, e (iii) espaço-temporal, representada por meio do gráfico de Coordenada Paralelas. As visualizações geradas pelo protótipo interagem de modo simultâneo entre si, tornando a visualização mais intuitiva ao usuário.

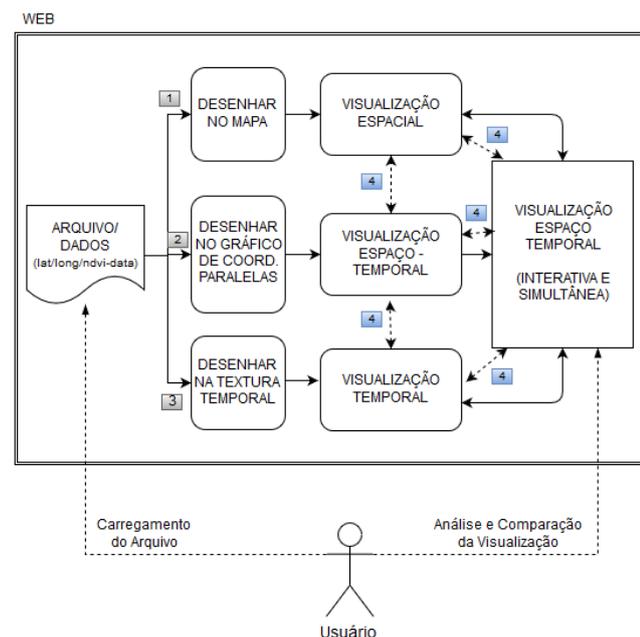


Figura 1: Arquitetura do protótipo ST-Vis

Contextualizando de forma simples, o usuário por meio do protótipo via web, carrega o arquivo (separado por vírgulas) que deseja visualizar, as informações são carregadas no protótipo em que (Figura 1 - 1) as variáveis de latitude e longitude são manipuladas para a geração do mapa, que representa a visualização espacial. Ao mesmo instante, (Figura 1 - 2) as variáveis de latitude, longitude, data-NDVI são manipuladas para a geração do gráfico de Coordenadas Paralelas, que representa a visualização espaço-temporal. E

por fim, (Figura 1 - 3) as variáveis de data-NDVI são manipuladas para a geração da Textura Temporal, que é uma textura de cores.

Assim, carregada as visualizações, as mesmas possuem alguns eventos (Figura 1 - 4) como a interação e alteração das informações por meio das visualizações, pois o simples passar do mouse nas instâncias habilita os eventos.

4.1 Dados Espaço-Temporais

Para trabalhar na representação dos dados espaço-temporais, foram disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) arquivos de dados espaço-temporais com a variação da cobertura vegetal de regiões do estado de São Paulo, ou seja, a variação do índice de vegetação (NDVI).

Esses dados foram obtidos por meio de captação de imagens de satélites como o AVHRR/NOAA e o MODIS/Terra e possuem variáveis como a latitude e longitude do objeto ou o ponto a ser analisado, e a variação do NDVI através do tempo desse objeto.

4.2 Visualização Espacial

O protótipo ST-Vis utiliza um mapa para gerar a visualização espacial, em que são plotados marcadores, ou seja, os pontos verdes no mapa, como pode ser visualizado na Figura 2. Esses pontos são dados espaciais referentes às variáveis de latitude e longitude. O mapa é gerado por meio de uma API do Google Maps.



Figura 2: Visualização Espacial - Mapa

4.3 Visualização Temporal

Como um dos objetivos específicos do protótipo ST-Vis é representar os dados espaço-temporais sobre o índice de vegetação, foi elaborada a Textura Temporal, que é uma representação temporal desses dados. Essa textura mapeia os dados temporais (data) de uma única latitude e longitude (ponto verde no mapa - Figura 2) de forma linear, associando os valores numéricos a cores proporcionais à variação da classe do NDVI, segundo cores utilizadas pelos especialistas da área (Figura 3).

Devido a essa associação dos valores de NDVI com cores, o protótipo representa os dados temporais de forma linear, na qual cada linha representa o período de um ano e o especialista pode

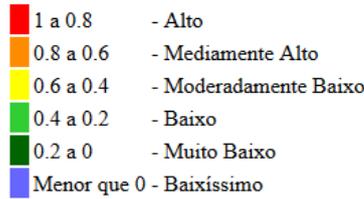


Figura 3: Variação do Índice de Vegetação (NDVI)
 Fonte: Adaptado de [1]

escolher a granularidade dos seus dados, sendo quinzenal ou mensal. Deste modo, ao escolher a granularidade quinzenal, o protótipo ST-Vis exibe a Textura Temporal com *n* linhas, onde cada linha contém 24 colunas, assim cada linha representa o período de um ano (Figura 4). Caso o usuário escolha a granularidade mensal, o protótipo exibirá a Textura Temporal com *n* linhas contendo 12 colunas (Figura 5).

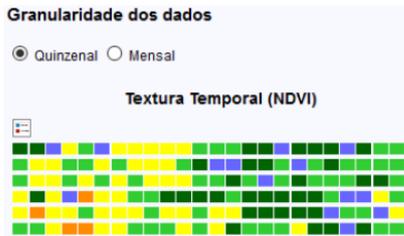


Figura 4: Visualização Temporal - Textura Temporal (1)

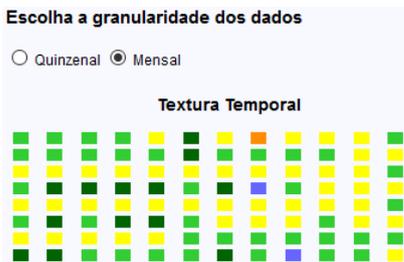


Figura 5: Visualização Temporal - Textura Temporal (2)

4.4 Visualização Espaço-Temporal

Para obter uma visualização espaço-temporal, foi adicionado no protótipo o gráfico de Coordenadas Paralelas. Esse gráfico foi introduzido por Inselberg [7] no qual é possível representar dados multidimensionais, utilizando linhas verticais chamados eixos e linhas horizontais, exibindo suas dimensões de forma paralela umas com as outras em um plano bidimensional.

O gráfico de Coordenadas Paralelas permite relacionar as informações dos dados por meio de linhas horizontais (linha azul) que percorrem todos os eixos paralelos na representação visual (Figura 6). Cada eixo é uma dimensão, assim cada linha vertical pode ser

um atributo diferente de um determinado objeto. O código do gráfico de Coordenadas Paralelas obtido, foi reaproveitado por meio da plataforma de hospedagem de código-fonte GitHub, no qual o código utilizado foi criado por Kai Chang [2] e colaboradores, deste modo, o mesmo foi modificado e adaptado para o protótipo ST-Vis.

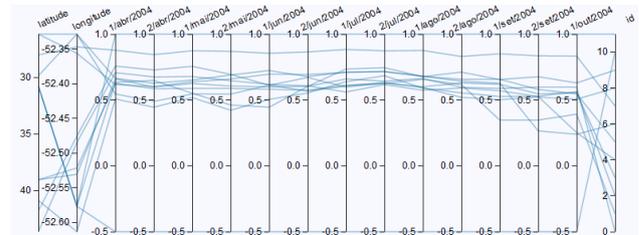


Figura 6: Visualização Espaço-Temporal - Gráfico de Coordenadas Paralelas

O protótipo ST-Vis por meio de Coordenadas Paralelas gera uma visualização espaço-temporal simultânea, pois associa vários eixos paralelos a uma dimensão temporal (data), incluindo dois eixos verticais para a informação espacial (latitude e longitude), além de adicionar outros eixos para dados temáticos (dados não espaciais e não temporais, como por exemplo: id) como mostra a Figura 7.

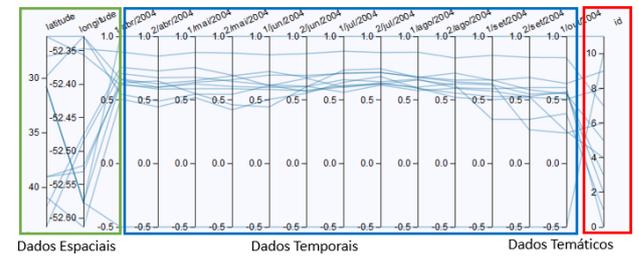


Figura 7: Visualização Espaço-Temporal - Gráfico de Coordenadas Paralelas (dados espaciais, temporais e temáticos)

Esse gráfico visa facilitar a exploração e a compreensão dos dados espaço-temporais, representando-os de forma simultânea, ou seja, apresenta em uma única visualização os dados espaciais, temporais e temáticos (Figura 7).

Para auxiliar o usuário na compreensão das informações nas visualizações, o mapa, a Textura Temporal e o gráfico de Coordenadas Paralelas encontram-se associados a uma tabela. Essa tabela exibe todos os dados carregados do arquivo (arquivo carregado pelo usuário). Deste modo, ao percorrer a tabela com o cursor do mouse, destaca-se uma linha horizontal no gráfico de Coordenadas Paralelas, o marcador do mapa começa a saltitar e é gerada a Textura Temporal.

5 RESULTADOS

O protótipo ST-Vis diferentemente das ferramentas citadas nos trabalhos relacionados, fornece uma visualização simultânea e interativa dos dados espaço-temporais. O ST-Vis representa por meio

da Textura Temporal (variação de cores) as variações do NDVI em cada ponto (marcador) carregado pelo arquivo.

O arquivo carregado, possui o formato CSV (*Comma-Separated Values*), ou seja, separado por vírgulas, e ao carregar exibi as informações de maneira simultânea no mapa, no gráfico de Coordenadas Paralelas, na tabela e na Textura Temporal. Todos os dados carregados na tabela interagem com as demais visualizações. Assim, quando o usuário percorre as instâncias da tabela, são habilitados alguns eventos.

Deste modo, a linha horizontal no gráfico de Coordenadas Paralelas é destacada (azul escuro), o marcador do mapa referente a latitude e longitude começa a saltitar e por fim, é exibida a Textura Temporal, onde cada cor representa o valor de variação do índice de vegetação, ou seja, o NDVI (Figura 8).



Figura 8: Visualização Espaço-Temporal - Protótipo ST-Vis (normalizado)

Os valores dos dados a serem carregados podem ser normalizados (Figura 8) ou não (Figura 9), dependendo de como o usuário requer a visualização. Com as Figuras 8 e 9, podemos observar a diferença entre uma mesma instância normalizada e não, (referentes a mesma latitude e longitude).

Existe uma função nos eixos do gráfico de Coordenadas Paralelas que o especialista pode selecionar alguns focos de interesse, como mostra os quadrado cinza na Figura 10. Essa seleção permite a filtragem das instâncias na visualização facilitando assim a análise dos dados.

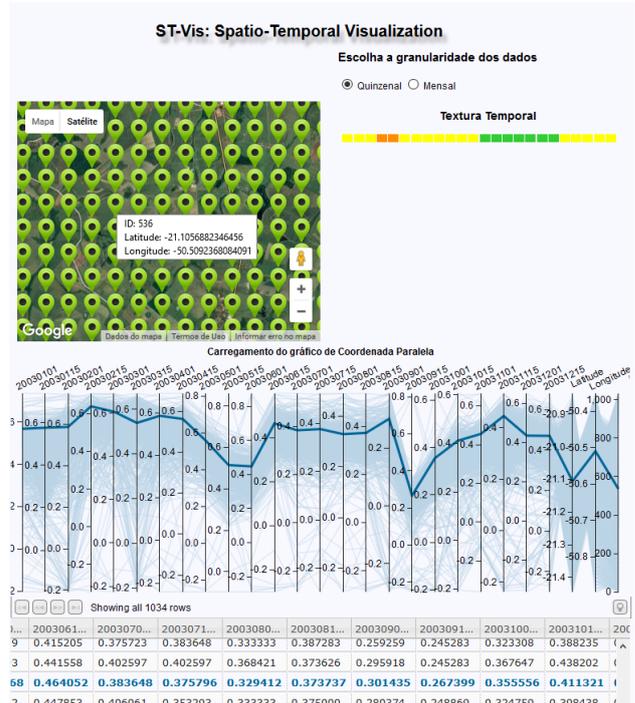


Figura 9: Visualização Espaço-Temporal - Protótipo ST-Vis (não normalizado)

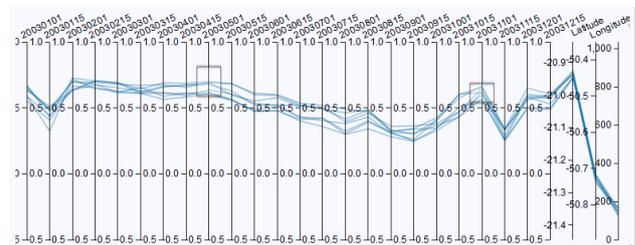


Figura 10: Visualização Espaço-Temporal - Gráfico de Coordenadas Paralelas (seleção de focos de interesse)

O protótipo também permite a realização de duas consultas simultâneas em diferentes regiões. Assim, o usuário comparar as regiões entre si, relacionando os dados de acordo com o foco de interesse (Figura 11).

5.1 Avaliação

A fim de avaliar a primeira versão do protótipo, foi gerado um formulário na web

Nesse formulário houve uma breve explicação de como o usuário pode analisar o índice de vegetação em uma visualização espaço-temporal, explicando o comportamento de uma região com área predominante de cana, área com água (rio) e área urbana (cidade).

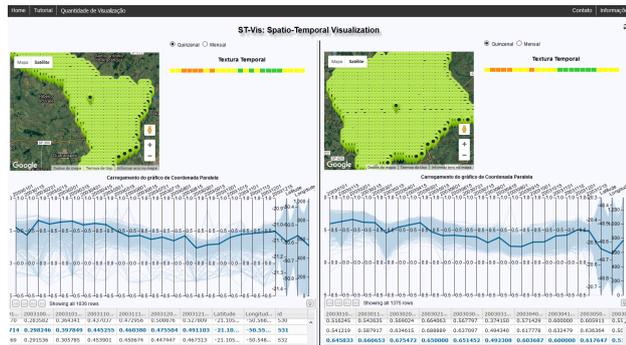


Figura 11: Consulta simultânea por meio do Protótipo ST-Vis (visualização em duas áreas distintas)

Assim, o formulário forneceu algumas imagens para o usuário analisar e pediu que o mesmo responde-se as seguintes perguntas para a Imagem 1 (disponibilizada no formulário):

Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal, é possível identificar essa região com comportamento produtor de cana-de-açúcar? Essa pergunta obteve um acerto de 96.4% nas respostas.

Pergunta 2: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o plantio de cana-de-açúcar nessa região? Essa pergunta obteve um acerto de 89.3% nas respostas.

Pergunta 3: Ao observar os gráficos da ferramenta ST-Vis, em qual mês provavelmente foi realizado o término do corte de cana-de-açúcar nessa região? Essa pergunta obteve um acerto de 75% nas respostas.

Para a Imagem 2 (disponibilizada no formulário), foi realizada as seguintes perguntas:

Pergunta 1: Observando a variação do NDVI no gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal a região analisada provavelmente é de? Essa pergunta obteve um acerto de 92.9% nas respostas.

Para a Imagem 3 (disponibilizada no formulário) colocamos duas visualizações de regiões diferentes e foi pedido que o mesmo responde-se as seguintes perguntas:

Pergunta 1: É possível identificar diferenças na variação do NDVI ao longo do tempo comparando regiões de cana e não cana? 92.9% dos usuários informaram que é possível, sendo um indicativo de que os gráficos produzidos pela ferramenta auxiliam a análise.

Pergunta 2: Qual lado da imagem representa a região de não-cana? Essa pergunta obteve um acerto de 89.3% nas respostas.

E por último, Pergunta 3: A ferramenta ST-Vis facilitou a análise dos dados por tratar em uma mesma tela a variação do NDVI ao longo do tempo em diferentes pontos geográficos (latitude/ longitude)? 92.9% dos usuários responderam que a ferramenta auxiliou sim na análise, sendo um resultado bastante promissor.

6 CONCLUSÃO

A visualização de dados espaço-temporais de maneira simultânea ainda é um desafio na área de visualização devido à difícil tarefa de adicionar a variação temporal aos dados espaciais. Neste sentido,

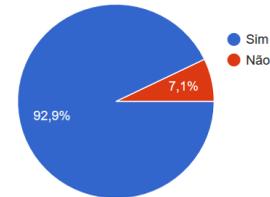


Figura 12: Porcentagem dos usuários que responderam que o protótipo facilita a análise dos dados

este artigo apresentou a primeira versão do protótipo ST-Vis que fornece uma representação visual de dados textuais e tabulares, combinando o mapa com o gráfico de Coordenadas Paralelas e a Textura Temporal. Os resultados iniciais desta visualização auxiliam os usuários na compreensão das informações espaço-temporais, permitindo uma visualização espaço-temporal interativa. Assim, o especialista de domínio pode identificar algumas regras e até mesmo padrões de interesse, pois a visualização torna a compreensão dos dados mais intuitiva.

7 TRABALHOS FUTUROS

Conseguir gerar uma visualização espaço-temporal para quaisquer instância é algo complexo, assim, o protótipo ST-Vis deve a cada versão se aprimorar. Pretende-se adicionar no decorrer do tempo mais opções de análise, como por exemplo, adicionar a temperatura, a precipitação do solo, umidade, entre outros. Também é esperado a realização de mais testes com os especialistas de domínio para assim continuar a oferecer uma visualização espaço-temporal adequada para o domínio do problema.

REFERÊNCIAS

- [1] Cláudia Maria Sabóia Aquino and José Gerardo Beserra Oliveira. 2012. ESTUDO DA DINÂMICA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NO NUCLEO DE SÃO RAIMUNDO NONATO-PI. *GEOSP: Espaço e Tempo (Online)* 31 (2012), 157–168.
- [2] Kai Chang. [n. d.]. Parallel Coordinates. ([n. d.]). <https://github.com/syntaxmatic/parallel-coordinates>
- [3] Maxwell Guimarães de Oliveira and Cláudio de Souza Baptista. 2012. GeoSTAT-A System for Visualization, Analysis and Clustering of Distributed Spatiotemporal Data.. In *GeoInfo*. 108–119.
- [4] EMBRAPA. 2014. SATVeg. (2014). <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>
- [5] Macrofocus GMBH. 2015. INFOSCOPE. (2015). <https://www.macrofocus.com/public/products/infoscope/>
- [6] Diansheng Guo, Jin Chen, Alan M MacEachren, and Ke Liao. 2006. A visualization system for space-time and multivariate patterns (vis-stamp). *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 12, 6 (2006), 1461–1474.
- [7] Alfred Inselberg. 1985. The plane with parallel coordinates. *The visual computer* 1, 2 (1985), 69–91.
- [8] Robert E Roth, Kevin S Ross, Benjamin G Finch, Wei Luo, and Alan M MacEachren. 2010. A user-centered approach for designing and developing spatiotemporal crime analysis tools. In *Proceedings of GIScience*, Vol. 15.